

Analisis Perancangan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Software Plaxis (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung AMC RS Anutapura Palu)

Analysis of Piling Foundation Design Using Plaxis Software (Case Study : AMC Building Construction Project of Anutapura Hospital Palu)

Muhammad Suradi¹⁾, Sugiarto²⁾, Pratiwi Aziz^{3,a)}, Rahma Widyasari⁴⁾, Rifaldy Tri Setya Ramdi⁵⁾, Muh. Fadil Akbar⁶⁾

1,2,3,4,5,6) Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

Koresponden : ^{a)}pratiwiaziz@poliupg.ac.id

ABSTRAK

Perancangan pondasi tiang pancang memerlukan analisis yang rumit karena melibatkan banyak aspek dan parameter yang harus dipertimbangkan serta menggunakan persamaan-persamaan kompleks. Oleh karena itu, penggunaan perangkat lunak diperlukan untuk menyederhanakan analisis ini agar dapat menghasilkan hasil yang cepat dan akurat. Plaxis adalah salah satu program yang dapat digunakan untuk menganalisis desain pondasi tiang pancang. Perhitungan daya dukung dan penurunan pondasi dilakukan secara manual selama penelitian ini dan membandingkan hasilnya dengan pemodelan menggunakan Software Plaxis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dimensi pondasi tiang pancang yang aman adalah diameter 60 cm dengan kedalaman 43 m, menggunakan beton berkualitas 30 MPa. Penulangan yang digunakan adalah tulangan pokok 4 Ø19 dan tulangan spiral Ø10 – 150. Hasil rata-rata perhitungan daya dukung tiang tunggal secara manual adalah 804,382 ton, sementara hasil dari Plaxis 2D adalah 656,494 ton, dengan perbedaan 18%. Untuk perhitungan daya dukung kelompok tiang secara manual, rata-rata adalah 779,946 ton, dan dari Plaxis 2D adalah 1528,625 ton, dengan perbedaan 49%. Hasil perhitungan penurunan tiang tunggal secara manual rata-rata adalah 0,0457 m, sedangkan dari Plaxis 2D adalah 0,0391 m, dengan perbedaan 14%. Untuk kelompok tiang, perhitungan penurunan manual rata-rata adalah 0,0332 m, dan dari Plaxis 2D adalah 0,0371 m, dengan perbedaan 12%. Perbedaan hasil antara kedua metode ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan parameter yang digunakan, di mana parameter pada Plaxis 2D lebih kompleks dibandingkan dengan analisis manual.

Kata Kunci : Pondasi, Daya Dukung, Plaxis

PENDAHULUAN

Pondasi adalah bagian struktur bawah yang menyalurkan beban dari struktur atas ke lapisan tanah di bawahnya. Pondasi tiang pancang adalah salah satu jenis pondasi yang sering digunakan.

Perancangan pondasi tiang pancang memerlukan analisis yang kompleks karena melibatkan banyak parameter dan menggunakan persamaan yang rumit. Analisis manual tidak dapat sepenuhnya mengakomodasi kompleksitas ini. Oleh karena itu, penggunaan software sangat penting

untuk mengatasi kompleksitas ini dan memberikan hasil yang cepat serta akurat. Salah satu software yang dapat digunakan adalah Plaxis.

Kompleksitas analisis dalam perancangan pondasi tiang pancang menggunakan software, termasuk Plaxis, perlu diverifikasi untuk memastikan hasil yang diperoleh rasional. Pemahaman mendalam diperlukan dalam penggunaan software ini agar analisis sesuai dengan konsep dan tahapannya. Ketidakhahaman dalam penggunaan software dapat menghasilkan perancangan yang salah. Oleh karena itu, hasil analisis menggunakan software perlu diverifikasi dengan analisis manual yang lebih sederhana agar lebih mudah untuk dipahami.

TINJAUAN PUSTAKA

Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Tunggal

Daya Dukung N-SPT

- Daya Dukung Ujung

$$Q_p = 40 \times N_b \times A_p = 40 \times \frac{N_1 + N_2}{2} \times A_p \dots (1)$$

Keterangan:

Q_p = Daya dukung ujung pondasi

N_b = Nilai SPT rata-rata pada elevasi tiang pancang

N_1 = Nilai SPT pada kedalaman 8D diatas ujung tiang

N_2 = Nilai SPT pada kedalaman 4D dibawah ujung tiang

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

- Daya Dukung Selimut

$$Q_s = 0,2 N - SPT \times A_s \dots (2)$$

Keterangan:

Q_s = Daya dukung selimut tiang

N-SPT = Nilai SPT sepanjang tiang

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

Daya dukung data laboratorium

- Daya Dukung Ujung

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \dots (3)$$

Keterangan :

C_u = Kohesi undrained (m^2)

- Daya Dukung Selimut

$$Q_s = \alpha \times C_u \times K \times L_i \dots (4)$$

Keterangan:

α = Faktor Adhesi

K = Keliling (m)

L_i = Tebal/tinggi lapisan tanah

Kapasitas dukung ultimate pondasi tiang

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \dots (5)$$

Kapasitas dukung ijin pondasi tiang

$$Q_a = \frac{Q_p}{3} + \frac{Q_s}{1,5} \dots (6)$$

Kontrol Daya Dukung

Daya dukung pondasi dianggap aman jika daya dukung ijin lebih besar dari beban yang diterimanya.

$$Q_a > P$$

Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Kelompok

Jumlah Tiang (n)

$$n = \frac{P}{Q_a} \dots (7)$$

Keterangan:

P = beban yang bekerja (ton)

Q_a = kapasitas daya dukung ijin tiang pancang tunggal (ton)

Jarak Antar Tiang (S)

$$S = 2,5D \leq S \leq 3D \dots (8)$$

Keterangan:

D = Diameter tiang

Penurunan Pondasi

Penurunan Pondasi Tiang Tunggal

Perhitungan pondasi tiang tunggal dapat diperkirakan dengan persamaan berikut:

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \dots (9)$$

Keterangan:

S = Penurunan total (m)

S_s = Penurunan elastis tiang (m)

S_p = Penurunan akibat beban pada ujung tiang (m)

S_{ps} = Penurunan akibat beban pada sepanjang tiang (m)

Untuk mendapatkan nilai S_s :

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \cdot Q_s) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \dots (10)$$

Untuk mendapatkan nilai S_p :

$$S_p = \frac{C_p + Q_p}{D \cdot q_p} \dots (11)$$

Untuk mendapatkan nilai S_{ps} :

$$S_{ps} = \frac{Q_s + C_s}{L \cdot q_p} \dots (12)$$

Keterangan:

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (kN)

α = digunakan 0,5 (untuk distribusi gesekan seragam atau parabolik sepanjang tiang)

L = Panjang tiang (m)

A_p = Luas penampang tiang (m²)

E_p = Modulus Elastisitas tiang (m)

C_p = Koefisien Empiris

D = Diameter tiang

q_p = Tahanan ujung batas tiang (kg/cm²)

C_s = Sebuah konstanta = (0,93 + 0,16)

Penurunan Pondasi Tiang Kelompok

Analisa penurunan tiang pancang kelompok menggunakan metode Meyerhoff berdasarkan hasil uji penetrasi standar (SPT).

$$S_g = 2q \sqrt{\frac{B_g \cdot l}{N}} \dots (14)$$

Keterangan:

S_g = Penurunan kelompok tiang (m)

Q = tekanan pada dasar pondasi (ton/m²)

B_g = Lebar dari potongan tiang kelompok (m)

L = Kedalaman tiang (m)

Kontrol Penurunan Pondasi

Penurunan pondasi dikatakan aman apabila hasil perhitungan penurunan lebih kecil dari besar penurunan izin.

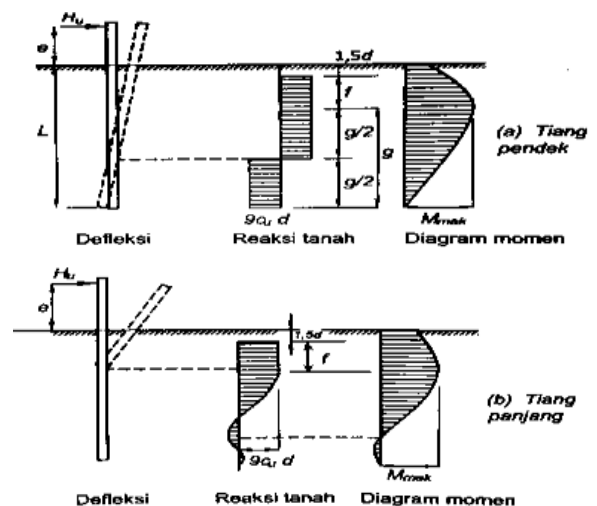
$$S < S_{ijin}$$

$$S_{ijin} = 10 \% \text{ Diameter Tiang}$$

Lateral

Tiang dalam Tanah yang Kohesif

- Kepala Tiang Terbuka



Gambar 1. Mekanisme Keruntuhan Kepala Tiang Terbuka dalam Tanah Kohesif untuk Tiang Pendek dan Tiang Panjang (Broms, 1964)

Dengan mengambil momen terhadap titik di mana momen pada tiang mencapai maksimum, dapat diperoleh:

$$M_{mak} = H_u \left(e + \frac{3d}{2} + \frac{f}{2} \right) \dots (16)$$

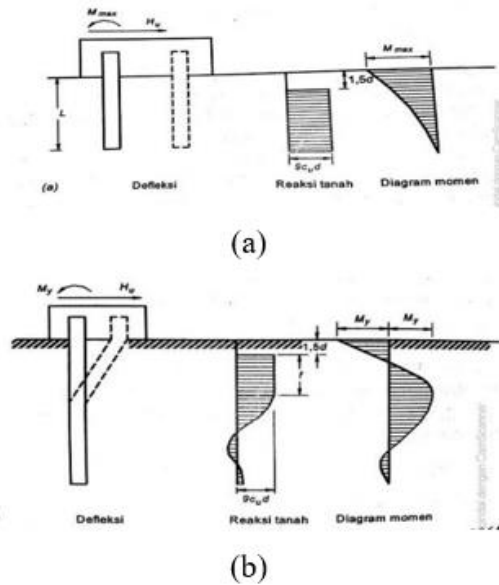
Keterangan:

H_u = Gaya Lateral ultimit (kg)

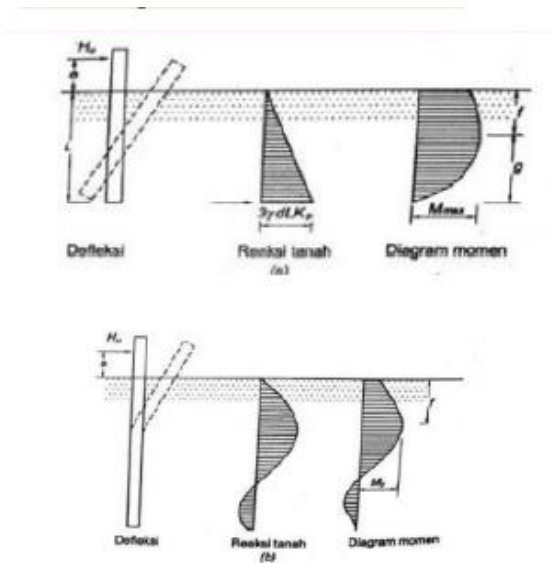
e = jarak titik tekanan/beban ke tanah (cm)

f = Lokasi maksimum momen di lintang nol (cm)

- Kepala Tiang Jepit



Gambar 2. Kepala Tiang Jepit untuk Tanah Kohesif pada Tiang Pendek (a) dan Tiang Panjang (b) (Broms,1964)



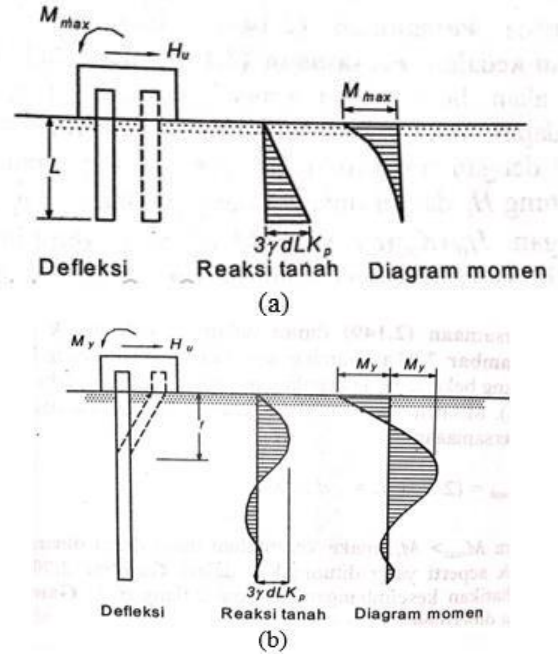
Gambar 3. Tiang Ujung Terbuka di Tanah Berbutir pada Tiang Pendek (a) dan pada Tiang Panjang (b) (Broms,1964)

- Kepala Tiang Bebas

Persamaan yang digunakan untuk menunjukkan momen maksimum yaitu:

$$M_{maks} = H_u (e + 1,5f) \dots(20)$$

- Kepala Tiang Jepit



Gambar 4. Kepala tiang jepit pada Tanah Berbutir untuk Tiang pendek (a), Tiang Panjang (b) (Broms, 1964)

Faktor Aman Tiang Pancang

Reese dan O’Neill (1989) menyarankan nilai-nilai faktor aman (F) sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai Faktor Aman

Klasifikasi struktur	Faktor Aman			
	Baik	Normal	Jelek	Sangat Jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementar	1,4	2,0	2,3	2,8

Analisis Daya Dukung Tiang Pancang dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga (Menggunakan Program Plaxis)

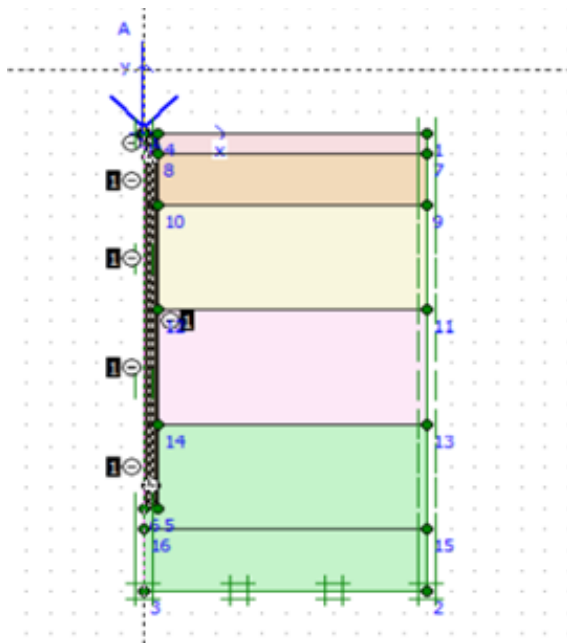
Plaxis adalah program untuk aplikasi geoteknik yang berbasis metode elemen hingga (*finite element method*), yang bermanfaat untuk meningkatkan perilaku tanah. Aplikasi tersebut terdiri dari 4 program, yaitu :

- a. *Input program*
- b. *Calculation program*

c. Output program

d. Curve program

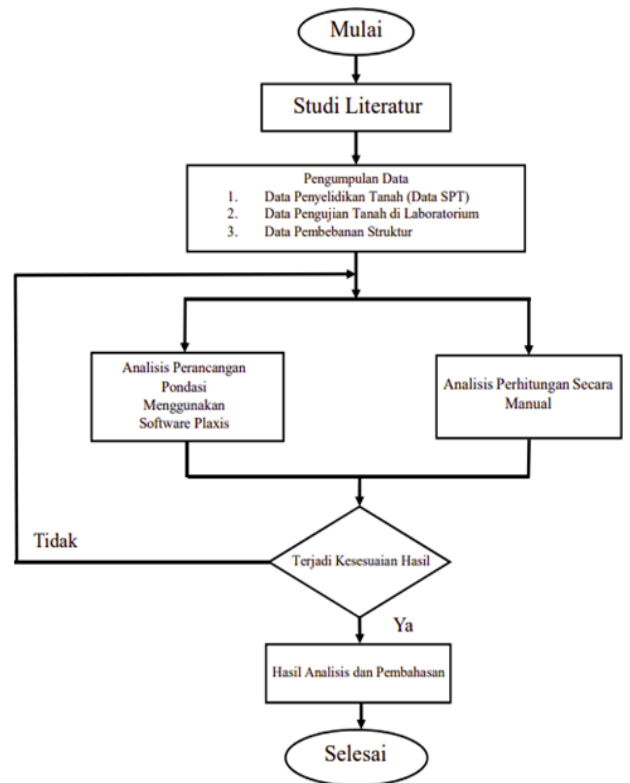
Program Plaxis menggunakan berbagai jenis tanah, termasuk model tanah Mohr-Coloumb dan Soft Soil. Parameter yang digunakan termasuk modulus Young (E), perbandingan poisson (μ), berat jenis tanah, sudut geser dalam, kohesi, dan permeabilitas.



Gambar 5. Contoh Pemodelan Pondasi pada Plaxis

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini ialah metode elemen hingga. Pengumpulan data diperlukan sebagai langkah pertama, dilanjutkan dengan analisa perhitungan secara manual dan menggunakan software plaxis. Gambar 6 menunjukkan garis besar alur penelitian ini.



Gambar 6. Diagram alir penelitian

ANALISIS PENELITIAN

Data Perencanaan

Spesifikasi Umum:

Jenis konstruksi : Beton bertulang

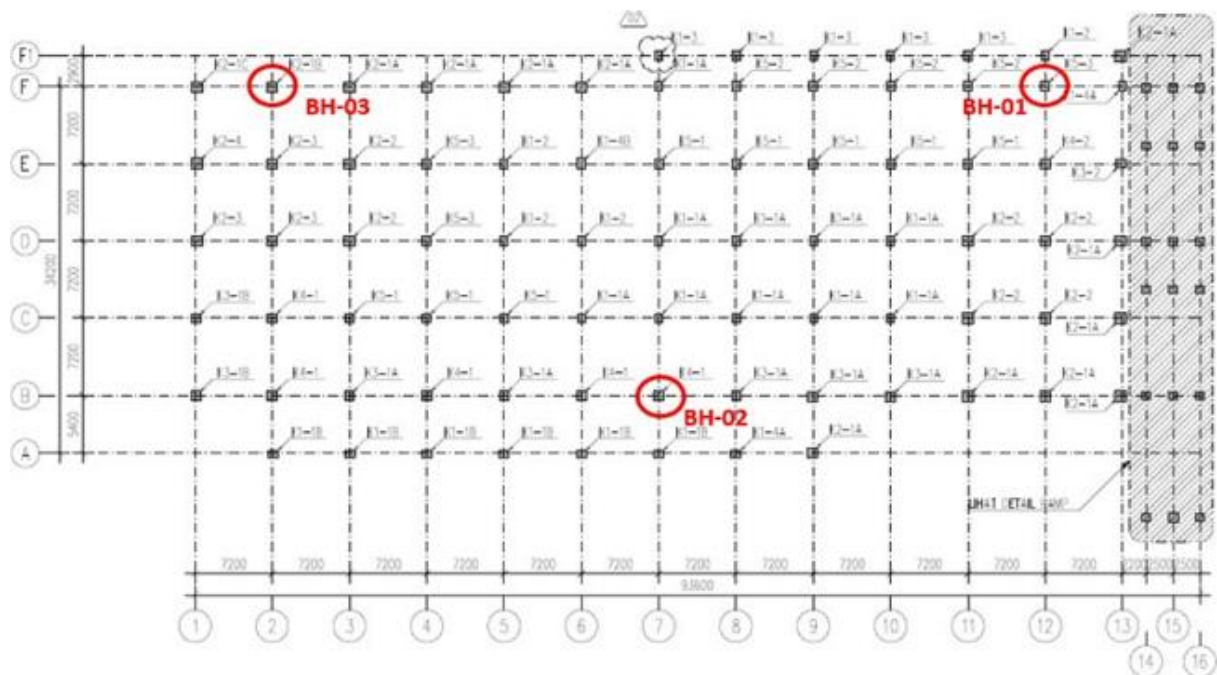
Fungsi bangunan : Rumah sakit

Jenis pondasi : tiang pancang

Diameter pondasi : 60 cm

Mutu beton : 30 MPa

Adapun data yang digunakan untuk melakukan analisa yaitu data hasil pengujian SPT pada lokasi proyek pembangunan Gedung AMC RS Anutapura Palu, terdapat tiga titik pengujian SPT yaitu BH-01, BH-02, dan BH-03.



Gambar 7. Lokasi Bore Hole

Lokasi Bore Hole dapat dilihat pada Gambar 7. Titik 12F sebagai letak titik BH-01 mewakili pondasi sudut, titik 7B sebagai letak BH-02 mewakili pondasi tengah, dan titik 2F sebagai letak titik BH-03 mewakili pondasi pinggir.

Analisa Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Data SPT

Hasil analisa daya dukung tiang pancang tunggal berdasarkan data SPT terlampir pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisa Daya Dukung

Titik	Dia mete r (m)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qu (ton)	Qa (ton)	Beban
						Aksial (ton)
BH-01		522,998	458,823	981,821	480,214	256,5
BH-02	0,6	397,901	370,446	768,347	379,597	267,6
BH-03		395,640	267,340	662,980	310,106	227,03

Tabel 2 menunjukkan bahwa pondasi sudah aman karena nilai daya dukung izin ketiga tiang secara keseluruhan lebih besar dari beban aksial yang bekerja pada saat itu.

Analisa Penurunan Pondasi Tiang Pancang dengan Manual

Tabel 4 berisi hasil analisis penurunan tiang pancang tunggal dan kelompok. Penurunan setiap tiang dinyatakan aman karena nilai penurunan yang didapatkan untuk tiang tunggal dan kelompok masih lebih kecil dari nilai penurunan yang diijinkan.

Tabel 4. Hasil Analisis Penurunan Tiang

Titik	Penurunan (m)		Penurunan Ijin (m)
	Tiang Tunggal	Tiang Kelompok Berdasarkan N-SPT	
BH-01	0,0533	0,0143	0,06
BH-02	0,0435	0,0391	
BH-03	0,0403	0,0460	

Analisa Gaya untuk pada Tiang Vertikal

Hasil analisa gaya vertikal pada tiang terlampir pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Analisa Gaya Vertikal

Titik	Diameter	Pmax	Qa	Cek Syarat
BH-1	0,8	128,624	656,246	AMAN
BH-2	0,8	133,965	485,163	AMAN
BH-3	0,8	113,794	302,716	AMAN

Berdasarkan tabel, nilai Pmax yang bekerja untuk setiap titik masih lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai daya dukung ijin, maka pondasi dinyatakan aman.

Analisa Tahanan Lateral dan Defleksi Tiang Pancang

Analisa Tahanan lateral terlampir pada Tabel 6 dan defleksi dari ketiga tiang terlampir pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Analisa Tahanan Lateral

No. Tiang	Hu (ton)	Hua (ton)	F
BH-1	25,915	25,172	0,871
BH-2	25,023	25,685	8,189
BH-3	24,011	24,025	8,189

Tabel 7. Besar Defleksi Tiang

Titik	Defleksi (m)	Kontrol
BH-1	0,0077	Aman
BH-2	0,0081	Aman
BH-3	0,0092	Aman

Gerakan lateral yang ditoleransikan yaitu antara 6 – 18 mm, berdasarkan tabel diatas nilai defleksi seluruh titik berada pada interval tersebut sehingga defleksi seluruh tiang dinyatakan aman.

Analisis Tulangan Pile Cap dan Penulangan Tiang Pancang

Penulangan Pile cap dihitung dengan data sebagai berikut :

V	= 256,5	ton
Mu	= 661,804	kNm
	= 2420137,42	Kgcm
n	= 2	
B (Lebar pile cap)	= 200	cm
d	= 60	cm
Tebal pile cap	= 80	cm
Selimut beton	= 7,5	cm

Mutu beton = 30 Mpa = 305,92 kg/cm²

Mutu tulangan = 420 Mpa = 42782,9 kg/cm²

Berdasarkan data diatas, diperoleh jenis tulangan pile cap yang digunakan terlampir pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekap Tulangan Pile Cap

No. Tiang	Tul. Utama	Tul. Tarik	Jumlah	
			Tul. Atas	Tul. Bawah
BH-01	8 D22	7 D19	D22 - 240 mm	D19 - 270 mm
BH-02	8 D22	7 D19	D22 - 240 mm	D19 - 270 mm
BH-03	8 D22	7 D19	D22 - 240 mm	D19 - 270 mm

Adapun penulangan pondasi yang diperoleh yaitu digunakan 4 Ø 19 dan tulangan sengkang Ø10 – 150.

Analisa Daya Dukung dan Penurunan Pondasi dengan PLAXIS 8.6

Pada analisis menggunakan Plaxis 8.6 ini, data-data yang digunakan terlampir pada Tabel 9.

Tabel 9. Data-Data Tiang Pancang yang Digunakan

No.	Data	Keterangan
1	Diameter Tiang (D)	0,6 m
2	Modulus Elastisitas (E)	23500000 kN/m ²
3	Luas Penampang (A)	0,5024 m ²
4	Momen Inersia (I)	0,020106193 m ⁴
5	Berat Jenis Beton (γ)	24 Kn/m ³
6	Angka Poisson (μ)	0,2

Hasil pemodelan PLAXIS untuk tiang tunggal pada titik BH-01 dapat dilihat pada Gambar 8. Dari hasil pemodelan PLAXIS untuk tiang tunggal diperoleh nilai nilai Σ -Msf sebesar 1,699. Sedangkan nilai daya dukung ultimit untuk hasil analisa PLAXIS dihitung menggunakan Persamaan:

$$Q_u = Q_a \times \Sigma\text{-Msf} \dots(22)$$

Dengan: Q_u = daya dukung ultimit (ton)

Q_a = daya dukung ijin (ton)

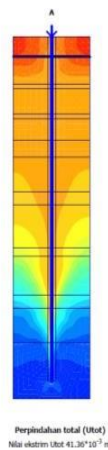
Σ -Msf = hasil bagi dari perbedaan antara parameter kekuatan sebenarnya dan yang telah direduksi.

Sehingga, daya dukung ultimit tiang adalah:

$$Q_u = 480,214 \times 1,699 = 815,884 \text{ ton}$$

Adapun penurunan yang diperoleh yaitu sebesar 0,0041 m. Rekapitulasi hasil analisa Plaxis untuk tiang tunggal terlampir pada Tabel 11.

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses			
Deskripsi proyek : BH-01	Plaxis 8.6		
Nama pengguna : Koshiyoki Kabuto, Japan			
Nama proyek : T TUNGGAL	Tanggal : 10/26/2023		
Keluaran : Informasi perhitungan	Langkah : 80 Halaman : 1		
Informasi langkah			
Langkah 80 dari 180	Peningkatan faktor pengali	1,000	
Langkah Plastis		0,038	
Perpindahan tertentu			
Mdisp:	0,000	E-Mdisp:	1,000
MloadA:	0,000	E-MloadA:	1,000
MloadB:	0,000	E-MloadB:	1,000
Mweight:	0,000	E-Mweight:	1,000
Maccel:	0,000	E-Maccel:	0,000
Msf:	0,020	E-Msf:	1,699
Mpeningkatan:	0,000	Waktu akhir:	0,000
Tahapan konstruksi			
Proporsi alok dari luas total	Marea:	0,000	E-Marea:
Proporsi alok dari tahap	Mstage:	0,000	E-Mstage:



Gambar 8. Hasil Pemodelan PLAXIS Untuk Tiang Tunggal Pada Titik BH-01.

Tabel 11. Rekapitulasi Analisa Plaxis Untuk Tiang Tunggal

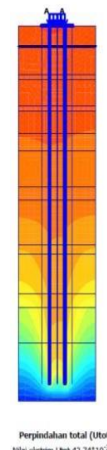
Jenis Pondasi	Titik	Daya Dukung	Penurunan
Tiang Tunggal	BH-01	815,884	0,0414
	BH-02	611,531	0,0383
	BH-03	542,066	0,0376

Sedangkan untuk tiang kelompok, hasil pemodelan Plaxis dapat dilihat pada Gambar 9. Dari hasil pemodelan PLAXIS untuk tiang kelompok diperoleh nilai nilai Σ -Msf sebesar 3,925, maka nilai daya dukung ultimit berdasarkan hasil analisa PLAXIS adalah:

$$Q_u = 480,214 \times 3,925 = 1884,842 \text{ ton}$$

Adapun penurunan yang diperoleh yaitu sebesar 0,0042 m. Rekapitulasi hasil analisa Plaxis untuk tiang kelompok terlampir pada Tabel 12.

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses			
Deskripsi proyek : BH-01	Plaxis 8.6		
Nama pengguna : Koshiyoki Kabuto, Japan			
Nama proyek : T KELOMPOK PC	Tanggal : 10/25/2023		
Keluaran : Informasi perhitungan	Langkah : 42 Halaman : 1		
Informasi langkah			
Langkah 42 dari 42	Peningkatan faktor pengali	1,000	
Langkah Plastis		0,029	
Perpindahan tertentu			
Mdisp:	0,000	E-Mdisp:	1,000
MloadA:	0,000	E-MloadA:	1,000
MloadB:	0,000	E-MloadB:	1,000
Mweight:	0,000	E-Mweight:	1,000
Maccel:	0,000	E-Maccel:	0,000
Msf:	0,050	E-Msf:	3,925
Mpeningkatan:	0,000	Waktu akhir:	365,000
Tahapan konstruksi			
Proporsi alok dari luas total	Marea:	0,000	E-Marea:
Proporsi alok dari tahap	Mstage:	0,000	E-Mstage:



Gambar 9. Hasil Pemodelan PLAXIS untuk Tiang Tunggal pada Titik BH-01.

Tabel 12. Rekapitulasi Analisa Plaxis untuk Tiang Kelompok

Jenis Pondasi	Titik	Daya Dukung	Penurunan
Tiang Kelompok	BH-01	1884,84	0,0427
	BH-02	1428,05	0,0358
	BH-03	1272,99	0,0326

Berdasarkan hasil diatas, maka diperoleh perbandingan hasil analisa secara manual

dan analisa dengan menggunakan software Plaxis terlampir pada Tabel 13.

Tabel 13. Perbandingan Hasil Analisa Manual dan Plaxis untuk Tiang Tunggal

Jenis Pondasi	Titik	Daya Dukung		Penurunan	
		Manual	PLAXIS	Manual	PLAXIS
Tiang Tunggal	BH-01	981,821	815,884	0,053	0,0414
	BH-02	768,347	611,531	0,043	0,0383
	BH-03	662,98	542,066	0,04	0,0376
Rata-rata		804,3827	656,4937	0,045333	0,0391
Selisih		147,889		0,00623	
Perbandingan		18%		14%	

Tabel 14. Perbandingan Hasil Analisa Manual dan Plaxis untuk Tiang Kelompok

Jenis Pondasi	Titik	Daya Dukung		Penurunan	
		Manual	PLAXIS	Manual	PLAXIS
Tiang Kelompok	BH-01	960,429	1884,84	0,0218	0,0427
	BH-02	759,195	1428,05	0,0475	0,0358
	BH-03	620,213	1272,99	0,0569	0,0326
Rata-rata		779,9457	1528,625	0,042067	0,037033
Selisih		748,6793333		0,00389	
Perbandingan		49%		12%	

KESIMPULAN

Dari hasil analisa perhitungan tiang pancang secara analitis dan menggunakan software PLAXIS 2D, dapat diuraikan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Dimensi pondasi tiang pancang yang aman digunakan pada proyek ini yaitu berdiameter 60 cm sedalam 43 m, dengan mutu beton 30 MPa. Adapun penulangan untuk tiang pancang digunakan tulangan pokok 4 \emptyset 19 dan tulangan spiral \emptyset 10 – 150.
2. Berdasarkan hasil dari perhitungan daya dukung satu tiang secara manual diperoleh hasil rata-rata dari ketiga tiang sebesar 804,382 ton, sedangkan rata-rata dari hasil perhitungan PLAXIS 2D sebesar 656,494 ton sehingga diperoleh perbandingan sebesar 18%. Untuk perhitungan daya dukung tiang kelompok secara manual diperoleh rata-rata sebesar 779,946 ton dan rata-rata hasil perhitungan menggunakan PLAXIS 2D sebesar 1528,625 ton sehingga diperoleh perbandingan sebesar 49%.
3. Berdasarkan hasil perhitungan penurunan tiang tunggal secara manual diperoleh hasil rata-rata dari ketiga tiang sebesar 0,00457 m, sedangkan rata-rata dari hasil perhitungan PLAXIS 2D sebesar 0,0391 m, sehingga diperoleh perbandingan sebesar 14%. Untuk perhitungan penurunan tiang kelompok secara manual diperoleh rata-rata sebesar 0,0332 m dan rata-rata hasil perhitungan menggunakan PLAXIS 2D sebesar 0,0371 m sehingga

diperoleh perbandingan sebesar 12 %. Perbedaan hasil perhitungan yang diperoleh dari kedua metode dapat disebabkan oleh adanya perbedaan parameter yang digunakan. Parameter yang digunakan pada PLAXIS 2D lebih kompleks dibandingkan dengan parameter yang digunakan pada analisis secara manual.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiyanti, R., Maming, M. I., & Rahman, M. J. (2020). Analisis Penurunan Pondasi Tiang Pancang (Studi Kasus Gedung Laboratorium Terpadu FT Universitas Negeri Makassar). *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-UNAND)* Vol.16.
- Bowless, J. (1999). Analisis dan Disain Pondasi. Jakarta: Erlangga.
- Consultant, G. E. (2019). Laporan Faktual Pengujian Lapangan. Palu.
- Das, Braja M. (1995). *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: Erlangga.
- Marbun, B. (2009). Analisa Penurunan Elastis Tiang Pancang Proyek Pembangunan Rusunawa Medan Area. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Mustofa, I., Winarto, S., & Ridwan, A. (n.d.). Perencanaan pondasi tiang pancang pada gedung universitas tulungagung. 41-47.
- Nasional, B. S. (2013). Standar Nasional Indonesia 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- Nasional, B. S. (2019). Standar Nasional Indonesia 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Jakarta: Badan Standar Nasional .
- Nasution, W. (2016). Analisa Daya Dukung Tiang Pancang pada Titik Bore Hole -01 dengan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga. Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara. Medan: Skripsi.Tidak Diterbitkan.