

ANALISIS PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG PADA GEDUNG GKB-V UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG (Studi Kasus: Proyek Gedung GKB-V Universitas Muhammadiyah Malang)

Asma'ul Khusnaini¹, Dandung Novianto²

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang²

Email: asmaulkhsn723@gmail.com¹, dandung.novianto@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Gedung Kuliah Bersama V Universitas Muhammadiyah Malang (GKB-V) memiliki tinggi total bangunan sebesar 49,7 meter yang terdiri dari 10 lantai dan 1 *basement*. Pada kondisi eksisting bangunan GKB-V ini terdiri dari 2 bagian yaitu bagian bangunan utama dan bagian auditorium. Pada skripsi ini akan dilakukan penelitian hanya pada bangunan utama saja. Berdasarkan hasil uji N-SPT pada titik BH-01 sampai kedalaman 40 meter, tanah dasar dikategorikan sebagai lempung, sehingga diperlukan perencanaan fondasi sesuai SNI 8460:2017 untuk memperoleh daya dukung maksimum dan penurunan minimum. Analisis dilakukan dengan membandingkan dua bentuk penampang tiang pancang, yaitu lingkaran dan persegi. Perhitungan daya dukung menggunakan metode L'Decourt (1982) dan metode gabungan Meyerhof (1976) untuk perhitungan nilai Q_p dengan Thomlinson (1997) untuk perhitungan nilai Q_s , sedangkan penurunan menggunakan metode Meyerhof (1976). Simulasi ETABS menghasilkan beban maksimum untuk kombinasi ASD, terbesar ada pada K1-1=7564 kN, dan terkecil ada pada K4-1 1322 kN, yang digunakan untuk perhitungan daya dukung dan penurunan, dan kombinasi LRFD memberikan beban terbesar 9947 kN, yang digunakan untuk desain tulangan *pile cap*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penampang persegi memberikan kemampuan paling optimal, penampang dengan konfigurasi terbesar ada pada PC1-1 (7 tiang) dengan dimensi panjang x lebar x tinggi (4,8m x 4,3m x 1m) menghasilkan $Q_{all(group)}$ 8110 kN > Q_v 7563 kN dan penurunan 3,76cm; dan penampang dengan konfigurasi terkecil yaitu PC4-1 (1 tiang) dengan dimensi panjang x lebar x tinggi (1,2m x 1,2 m x 1m) menghasilkan $Q_{all(group)}$ 1542 kN > Q_v 1322 kN dan penurunan 8,85 cm; berdasarkan uraian tersebut seluruh tiang pancang memenuhi syarat $S_{tot} < S_{ijin}$ (15,52cm). Tulangan *pile cap* digunakan D25-150, serta metode pelaksanaan menggunakan *hydraulic jack in* dengan total biaya Rp. 10.072.727.178.

Kata kunci : SPT; daya dukung; penurunan; metode kerja; biaya

ABSTRACT

The Muhammadiyah University of Malang Joint Lecture Building V (GKB-V) has a total height of 49.7 meters, comprising 10 floors and a single basement. The existing GKB-V building comprises two parts: the main building and the auditorium. This thesis will focus solely on the main building. Based on the results of the N-SPT test at point BH-01 to a depth of 40 meters, the subsoil is categorized as clay. Therefore, foundation planning in accordance with SNI 8460:2017 is required to obtain the maximum bearing capacity and minimize settlement. The analysis was conducted by comparing two pile cross-section shapes, namely circular and square. The bearing capacity was calculated using the L'Decourt (1982) method and the combined Meyerhof (1976) method to calculate the Q_p value, with Thomlinson (1997) to calculate the Q_s value, while the settlement was calculated using the Meyerhof (1976) method. The ETABS simulation produced maximum loads for the ASD combination, with the largest being K1-1=7564kN and the smallest being K4-1 1322kN, which were used to calculate bearing capacity and settlement, and the LRFD combination produced the largest load of 9947kN, which was used to design the pile cap reinforcement. The calculation results show that the square cross-section provides the most optimal capacity, with the largest configuration found in PC1-1 (7 columns) with dimensions of length x width x height (4.8mx4.3mx1m), producing $Q_{all(group)}$ 8110kN > Q_v 7563kN and a settlement of 3.76 cm; and the cross-section with the smallest configuration, PC4-1 (1 pile) with dimensions length x width x height (1.2mx1.2mx1m), produced $Q_{all(group)}$ 1542kN > Q_v 1322kN and a settlement of 8.85 cm; based on the above description, all piles meet the requirement of $S_{tot} < S_{ijin}$ (15.52 cm). D25-150 reinforcement is used for the pile cap, and the hydraulic jack-in method is used for construction, with a total cost of Rp. 10,072,727,178.

Keywords: SPT; bearing capacity; settlement; working method; cost.

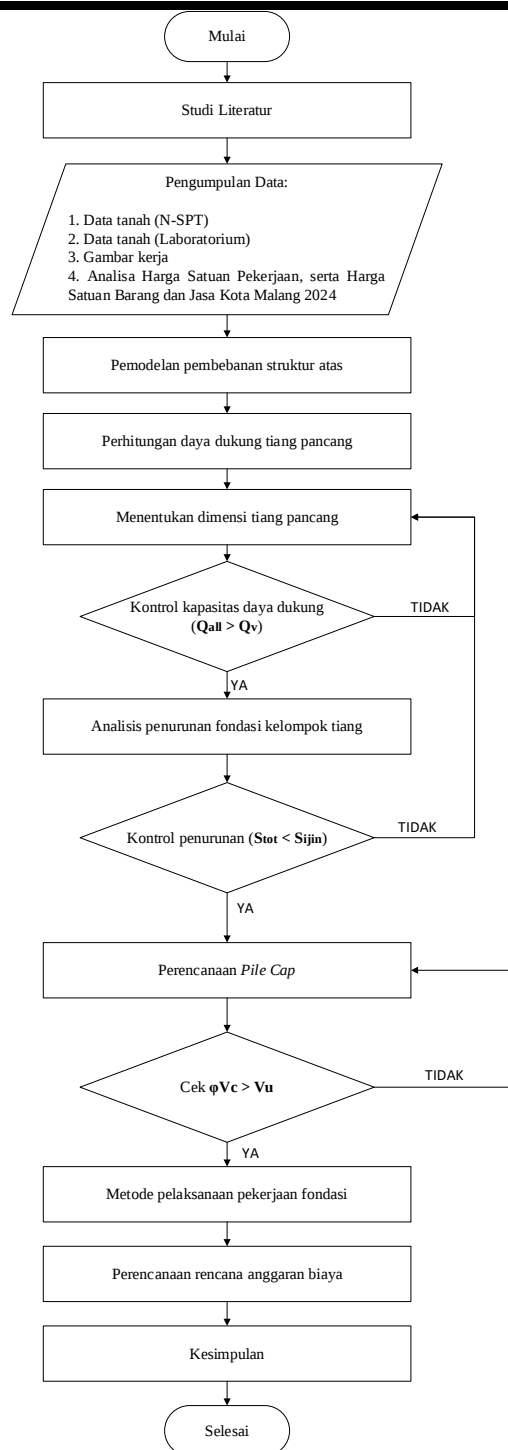
1. PENDAHULUAN

Pembangunan gedung bertingkat tinggi dengan kapasitas besar, seperti gedung perkuliahan, menuntut stabilitas dan keamanan struktur yang tinggi, terutama dalam pemilihan sistem fondasi yang sesuai dengan karakteristik tanah dan beban bangunan [1]. Fondasi berfungsi sebagai elemen utama yang menyalurkan beban dari struktur atas ke lapisan tanah keras, sehingga pemilihan jenis fondasi menjadi aspek penting dalam perencanaan konstruksi. Berdasarkan klasifikasinya, fondasi dibedakan menjadi fondasi dangkal dan fondasi dalam [2]. Fondasi dalam, seperti fondasi tiang pancang, digunakan ketika lapisan tanah keras berada pada kedalaman yang cukup dalam. Tiang pancang berfungsi untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah keras melalui perlawanan ujung dan selimut tiang [3]. Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa variasi bentuk dan dimensi tiang pancang, baik berbentuk lingkaran maupun persegi, berpengaruh terhadap nilai daya dukung dan penurunan fondasi. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa bentuk penampang tertentu dapat memberikan efisiensi yang lebih baik tergantung pada kondisi tanah dan karakteristik bangunan yang direncanakan [4].

Penelitian ini dilakukan hanya pada Gedung Utama Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Bersama V (GKB-V) Universitas Muhammadiyah Malang, sebuah gedung setinggi 49,7 meter dengan 10 lantai dan 1 basement yang ditopang oleh fondasi tiang pancang dengan jenis *spun pile* yang berdiameter 0,6 meter. Kompleksitas struktur fondasi pada gedung ini terdiri atas berbagai bentuk dan dimensi *pile cap*, dengan total 154 titik pemancangan. Penelitian ini berfokus pada analisis variasi bentuk tiang pancang—lingkaran dan persegi—untuk menentukan desain yang paling efisien berdasarkan daya dukung maksimum dan penurunan minimum. Metode perhitungan yang digunakan meliputi L'Decourt (1982), Mayerhof (1976), dan Thomlinson (1997) untuk daya dukung, serta metode Meyerhof (1976) untuk penurunan fondasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain fondasi yang optimal dan efisien bagi proyek gedung bertingkat, serta menjadi acuan dalam perencanaan fondasi serupa di masa mendatang.

2. METODE

Untuk memperoleh hasil perencanaan yang sistematis dan terarah, penelitian ini disusun melalui tahapan kerja yang digambarkan dalam diagram alir berikut ini:



Gambar 1. Diagram Alir Perencanaan Fondasi

Berdasarkan diagram alir yang terdapat pada **Gambar 1** rencana penelitian ini meliputi:

- Mengumpulkan referensi sebagai dasar teori penelitian.
- Melakukan pengumpulan data sekunder yang meliputi data uji tanah lapangan (N-SPT), data uji tanah laboratorium, data gambar kerja (*as built drawing*), dan

harga satuan pekerjaan konstruksi Kota Malang tahun 2024.

- c. Melakukan analisis pembebanan struktur atas menggunakan *software* ETABS v20.
- d. Menentukan dimensi fondasi tiang pancang yang akan dilakukan analisis.
- e. Melakukan analisis kapasitas daya dukung fondasi dan penurunan fondasi.
- f. Menentukan desain akhir fondasi tiang pancang yang akan digunakan.
- g. Melakukan perencanaan untuk dimensi dan tulangan *pile cap*.
- h. Melakukan perencanaan metode pelaksanaan serta melakukan perhitungan untuk RAB fondasi tiang pancang.

Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal

Pada penelitian ini, jenis tanah yang ada pada lokasi proyek adalah tanah lempung (*clay*), sehingga untuk perhitungan nilai daya dukung fondasi, menggunakan metode berikut ini:

- a. Metode Mayerhof (1976) dan Thomlinson (1997)

$$\begin{aligned} - Q_p &= 9 \times C_u \times A_p & 1 \\ - Q_s &= \alpha \times C_u \times p \times \Delta L & 2 \end{aligned}$$

Dimana

$$\begin{aligned} Q_p &= \text{Daya dukung ujung tiang (kN)} \\ Q_s &= \text{Daya dukung selimut tiang (kN)} \\ C_u &= \text{Kohesi undrained (kN/m}^2\text{)} \\ A_p &= \text{Luas penampang ujung tiang (m}^2\text{)} \\ \alpha &= \text{Faktor adhesi/lekatan secara empiris} \\ p &= \text{Keliling penampang (m)} \\ \Delta L &= \text{Ketebalan lapisan tanah (m)} \end{aligned}$$

- b. Metode L'Decourt (1982)

$$\begin{aligned} - Q_p &= \check{N}_p \times K \times A_p & 3 \\ - Q_s &= \left(\frac{\check{N}}{3} + 1\right) \times A_s & 4 \end{aligned}$$

Dimana

$$\begin{aligned} Q_p &= \text{Daya dukung ujung tiang (kN)} \\ Q_s &= \text{Daya dukung selimut tiang (kN)} \\ \check{N}_p &= \text{Rata-rata harga N-SPT mulai 4D di bawah ujung tiang sampai 4D diatas tiang} \\ K &= \text{Koefisien tanah (t/m}^2\text{)} \\ A_p &= \text{Luas penampang ujung tiang (m}^2\text{)} \\ A_s &= \text{Luas selimut tiang sepanjang tiang tertanam (m}^2\text{)} \\ \check{N} &= \text{Nilai rata-rata N-SPT sepanjang tiang} \end{aligned}$$

- c. Setelah melakukan perhitungan nilai Q_p dan Q_s , selanjutnya melakukan perhitungan nilai Q_u dan nilai Q_{all} dengan rumus berikut ini:

$$\begin{aligned} - Q_u &= Q_p + Q_s & 5 \\ - Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} & 6 \end{aligned}$$

Dimana

$$\begin{aligned} Q_u &= \text{Daya dukung ultimit tiang (kN)} \\ Q_{all} &= \text{Daya dukung ijin tiang (kN)} \\ SF &= \text{Faktor keamanan} \end{aligned}$$

Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok

Kapasitas nilai daya dukung tiang kelompok dengan jenis tanah lempung (*clay*) dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini:

- a. Menentukan jumlah tiang

$$- n = \frac{Q_v}{Q_{all}} \quad 7$$

Dimana

$$\begin{aligned} n &= \text{Jumlah tiang yang dibutuhkan (titik)} \\ Q_v &= \text{Beban aksial/vertical yang terjadi (kN)} \end{aligned}$$

- b. Menentukan Efisiensi kelompok tiang (E_g)

$$- E_g = 1 - 0 \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad 8$$

Dimana

$$\begin{aligned} E_g &= \text{Efisiensi kelompok tiang (\%)} \\ m &= \text{Jumlah tiang dalam satu kolom (titik)} \\ n &= \text{Jumlah tiang dalam satu baris (titik)} \end{aligned}$$

- c. Menghitung daya dukung pondasi tiang kelompok

$$\begin{aligned} (Q_{all(\text{group})}) \\ - Q_{all(\text{group})} &= E_g \times N \times Q_{all} & 9 \end{aligned}$$

Dimana

$$Q_{all(\text{group})} = \text{Daya dukung kelompok tiang (kN)}$$

Penurunan Fondasi Tiang Pancang

Penurunan fondasi untuk jenis tanah lempung (*clay*) secara umum terjadi dengan dua macam penurunan, yaitu penurunan segera dan penurunan konsolidasi, berdasarkan perihail tersebut, untuk perhitungan penurunan fondasi menggunakan metode dari Mayerhof (1976) berikut ini:

- a. Penurunan segera

$$- S_e = \frac{0,92 \times q \times \sqrt{B_g \times I}}{\bar{N}} \quad 10$$

Dimana

$$\begin{aligned} S_e &= \text{Penurunan elastik kelompok tiang (mm)} \\ B_g &= \text{Lebar kelompok tiang (m)} \\ I &= \text{Faktor pengaruh, } I = 1 - \frac{L_g}{8 \times B_g} \geq 0,50 \end{aligned}$$

$$\bar{N} = \text{N-SPT rata-rata pada kedalaman } B_g \text{ di bawah dasar fondasi}$$

$$q = \frac{Q_g}{(L_g \times B_g)} \quad 11$$

- b. Penurunan konsolidasi

$$- \Delta p = \frac{Q_g}{(B_g + z_i)(L_g + z_i)} \quad 12$$

Dimana

Δp = Tambahan tegangan

Q_g = Beban yang bekerja pada kelompok tiang (kN)

B_g = Lebar kelompok tiang (m)

L_g = Panjang kelompok tiang (m)

Z_i = Jarak dari $z = 0$ ke tengah lapisan tanah

- Perhitungan untuk tegangan *overburden*:

$$P_o = \gamma \times h_i \quad 13$$

Dimana:

γ = Berat jenis tanah (kN/m³)

h_i = Kedalaman pada lapisan ke-i

- Perhitungan nilai OCR

$$\frac{OC}{R} = \frac{P_c}{P_o} \quad 14$$

Dimana:

P_c = Tekanan prakonsolidasi (kN/m²)

P_o = Tekanan *overburden* (kN/m²)

- Penurunan konsolidasi

Apabila dalam kondisi nilai $OCR \leq 1$ (NC)

$$S_c = \frac{C_s \times H_c}{(1+e_o)} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o}$$

Apabila dalam kondisi nilai $OCR \geq 1$ (OC)

$$S_c = \frac{C_s \times H_c}{(1+e_o)} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} ; \quad 15$$

syarat ($P_o + \Delta p < P_c$)

$$S_c = \frac{C_s \times H_c}{(1+e_o)} \log \frac{P_c}{P_o} + \frac{C_c \times H_c}{(1+e_o)} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} ; \quad 16$$

syarat ($P_o + \Delta p > P_c$)

Dimana:

H_c = Tebal lapis tanah lempung

e_o = *Void ratio*

C_c = *Compression index*

C_s = *Swelling index*

P_o = Tegangan efektif sebelum penerapan beban ditengah lapisan

Δp = Tambahan tegangan

- Penurunan ijin sesuai dengan SNI 8640-2017:

$$S_{ijin} = 15 \text{ cm} + \frac{b}{600} \quad 17$$

Dimana:

b = Lebar bangunan (cm)

Metode Pelaksanaan

Pada saat pelaksanaan konstruksi fondasi tiang pancang mempunyai berbagai sistem, salah satunya adalah *Hydraulic Jack-In Pile*. Tiang pancang sistem *Hydraulic Jack-In Pile* merupakan metode pemancangan fondasi tiang pancang yang dilakukan dengan cara menekan tiang pancang masuk ke dalam tanah dengan menggunakan dongkrak hidrolik yang diberi beban berupa *counterweight*. Pada proses pemancangan tiang dengan menggunakan metode *Hydraulic Jack-In Pile*, digunakan alat bantu berupa *Hydraulic Static*

Pile Driver (HSPD), pada pelaksanaannya tidak menimbulkan getaran serta gaya tekan dongkrak hidrolik langsung dapat dibaca melalui sebuah manometer sehingga besarnya gaya tekan tiang setiap mencapai kedalaman tertentu dapat diketahui.

Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan perkiraan total biaya yang dibutuhkan dalam pelaksanaan suatu proyek, yang berfungsi sebagai dasar perhitungan nilai pekerjaan serta acuan dalam proses pelaksanaan konstruksi. Dalam penyusunan RAB ini, digunakan Daftar Harga Satuan Bahan dan Upah Kota Malang Tahun 2024 sebagai pedoman utama dalam menentukan nilai satuan pekerjaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan Struktur Atas

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada ETABS v 20.0 didapatkan rekapitulasi nilai-nilai gaya dalam sebagai berikut ini:

Tabel 1. Hasil Analisis Struktur Atas Pada Program ETABS v 20.0 Kombinasi ASD

Jenis kolom	Kombinasi beban ASD = DL + LL				
	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN)	My (kN)
K1-1	7564	1,96	10,31	-13,97	3,11
K1-2	6100	0,56	-31,83	25,63	-2,44
K1-3	5628	-2,32	-47,54	50,20	-5,11
K2-1	6404	13,77	13,54	-14,58	16,20
K2-2	4775	5,46	-32,61	37,31	4,53
K2-3	3489	3,10	30,16	-38,26	9,26
K3-1	4195	8,34	3,91	-2,42	10,06
K3-2	2920	9,38	2,36	-0,76	12,82
K4-1	1322	22,93	1,35	0,62	26,76

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 2. Hasil Analisis Struktur Atas Pada Program ETABS v 20.0 Kombinasi LRFD

Jenis kolom	Kombinasi beban LRFD = 1,2DL + 1,6LL + 0,5Lr				
	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN)	My (kN)
K1-1	9947	2,64	14,35	-22,23	4,60
K1-2	7824	3,86	-45,60	35,36	0,93
K1-3	7203	-4,42	-64,60	65,37	-7,57
K2-1	8388	20,08	20,05	-23,97	23,82
K2-2	6092	9,40	-45,90	50,19	8,91
K2-3	6073	14,11	36,89	-52,35	23,31
K3-1	5429	11,05	5,79	-5,582	13,54
K3-2	3718	12,41	5,23	-5,09	17,06

K4-1	1682	30,30	2,07	-0,67	35,50
------	------	-------	------	-------	-------

Sumber: Hasil perhitungan

Perhitungan Nilai Daya Dukung Tiang Tunggal

Perhitungan nilai daya dukung tiang tunggal menggunakan 2 (dua) metode yaitu metode Mayerhof (1976) dan metode L'Decourt (1982). Pada penelitian ini digunakan 2 (dua) jenis penampang fondasi tiang pancang yaitu dengan bentuk lingkaran dan dengan bentuk persegi. Pada contoh perhitungan tiang pancang, digunakan dimensi tiang sebesar $\varnothing$ 0,6m dan dengan kedalaman 30m. Berikut ini merupakan contoh perhitungan dari kedua penampang tersebut:

a. Perhitungan tiang pancang bentuk lingkaran:

1. Metode Mayerhof (1976)

- Menghitung nilai Q_p

$$\begin{aligned} - Q_p &= 9 \times C_u \times A_p \\ &= 9 \times 265,63 \times 0,28 \\ &= 675,93 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai Q_s , untuk nilai Q_s digunakan 1 contoh lapisan tanah sebagai berikut:

o Lapisan 1

$$\begin{aligned} - Q_s &= \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L \\ &= 0,63 \times 54,88 \times 1,885 \times 1,5 \\ &= 103,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

o Untuk lapisan ke 2 sampai dengan lapisan ke 10 di rangkum dalam tabel berikut ini:

Tabel 3. Nilai Q_s Penampang Lingkaran Perlapisan

Lapisan ke	α	C_u	P (m)	ΔL (m)	Q_s (kN)
2	0,95	15,94	1,885	1,5	42,92
3	0,43	111,56	1,885	2	180,19
4	0,34	260,31	1,885	6,5	1084,40
5	0,56	74,38	1,885	5,5	433,72
6	0,76	37,19	1,885	2	106,90
7	0,35	191,25	1,885	1	126,96
8	0,48	100,94	1,885	5	453,95
9	0,54	79,69	1,885	2,5	202,78
10	0,34	265,63	1,885	2,5	425,59
Total nilai Q_s					3161,41

Sumber: Hasil perhitungan

- Menghitung nilai W_p

$$\begin{aligned} - W_p &= \text{Volume} \times \text{Berat jenis} \\ &= \left(\frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 0,60 \times 30 \right) \times 24 \\ &= 203,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai Q_{ult}

$$\begin{aligned} - Q_{ult} &= Q_p + Q_s - W_p \\ &= 675,93 + 3161,41 - 203,66 \\ &= 3633,69 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai Q_{all}

$$\begin{aligned} - Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\ &= \frac{3633,69}{3} \\ &= 1211,23 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Metode L'Decourt (1982)

- Menghitung nilai Q_p

$$\begin{aligned} - Q_p &= \bar{N}_p \times K \times A_p \\ &= 32 \times 20 \times 0,28 \\ &= 179,047 \text{ ton} \\ &= 1755,86 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai Q_s

$$\begin{aligned} - Q_s &= \left(\frac{\bar{N}}{3} + 1 \right) \times A_s \\ &= \left(\frac{23}{3} + 1 \right) \times 56,55 \\ &= 481,61 \text{ ton} \\ &= 4722,97 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai W_p

$$\begin{aligned} - W_p &= \text{Volume} \times \text{Berat jenis} \\ &= \left(\frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 0,60 \times 30 \right) \times 24 \\ &= 203,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai Q_{ult}

$$\begin{aligned} - Q_{ult} &= Q_p + Q_s - W_p \\ &= 1755,86 + 4722,97 - 203,66 \\ &= 6275,17 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai Q_{all}

$$\begin{aligned} - Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\ &= \frac{6275,17}{3} \\ &= 2091,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Perhitungan tiang pancang bentuk persegi:

1. Metode Mayerhof (1976)

- Menghitung nilai Q_p

$$\begin{aligned} - Q_p &= 9 \times C_u \times A_p \\ &= 9 \times 265,63 \times 0,36 \\ &= 860,63 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai Q_s , untuk nilai Q_s digunakan 1 contoh lapisan tanah sebagai berikut:

o Lapisan 1

$$\begin{aligned} - Q_s &= \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L \\ &= 0,63 \times 54,88 \times 2,40 \times 1,5 \\ &= 132,40 \text{ kN} \end{aligned}$$

o Untuk lapisan ke 2 sampai dengan lapisan ke 10 di rangkum dalam tabel berikut ini:

Tabel 4. Nilai Qs Penampang Lingkaran Perlapisan

Lapisan ke	α	C_u	P (m)	ΔL (m)	Qs (kN)
2	0,95	15,94	2,40	1,5	54,65
3	0,43	111,56	2,40	2	229,43
4	0,34	260,31	2,40	6,5	1380,70
5	0,56	74,38	2,40	5,5	552,23
6	0,76	37,19	2,40	2	136,11
7	0,35	191,25	2,40	1	161,65
8	0,48	100,94	2,40	5	577,99
9	0,54	79,69	2,40	2,5	258,19
10	0,34	265,63	2,40	2,5	541,88
Total nilai Qs					4025,23

Sumber: Hasil perhitungan

- Menghitung nilai W_p

$$\begin{aligned} - W_p &= \text{Volume} \times \text{Berat jenis} \\ &= (0,6 \times 0,6 \times 30) \times 24 \\ &= 259,20 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai Q_{ult}

$$\begin{aligned} - Q_{ult} &= Q_p + Q_s - W_p \\ &= 860,63 + 4025,23 - 259,20 \\ &= 4626,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai Q_{all}

$$\begin{aligned} - Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\ &= \frac{4626,66}{3} \\ &= 1542,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Metode L'Decourt (1982)

- Menghitung nilai Q_p

$$\begin{aligned} - Q_p &= \widetilde{N}_p \times K \times A_p \\ &= 32 \times 20 \times 0,36 \\ &= 227,970 \text{ ton} \\ &= 2235,63 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai Q_s

$$\begin{aligned} - Q_s &= \left(\frac{N}{3} + 1 \right) \times A_s \\ &= \left(\frac{23}{3} + 1 \right) \times 72,00 \\ &= 613,20 \text{ ton} \\ &= 6013,47 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai W_p

$$\begin{aligned} - W_p &= \text{Volume} \times \text{Berat jenis} \\ &= (0,6 \times 0,6 \times 30) \times 24 \\ &= 259,20 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai Q_{ult}

$$\begin{aligned} - Q_{ult} &= Q_p + Q_s - W_p \\ &= 2235,63 + 6013,47 - 259,20 \\ &= 7989,90 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai Q_{all}

$$\begin{aligned} - Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\ &= \frac{7989,90}{3} \\ &= 2663,30 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan rangkuman dari hasil perhitungan nilai daya dukung tiang tunggal dengan menggunakan metode Mayerhof (1976) dan L'Decourt (1982), baik untuk tiang pancang dengan bentuk lingkaran dan bentuk persegi.

Tabel 5. Rangkuman Nilai Daya Dukung Fondasi Tiang Tunggal Bentuk Lingkaran Metode Mayerhof (1976)

L (m)	D (m)	Q_p (kN)	Q_s (kN)	W_p (kN)	Q_{ult} (kN)	Q_{all} (kN)
20		274	1559	76	1757	586
25	0,45	144	1900	95	1949	650
30		380	2371	115	2637	879
20		338	1733	94	1976	659
25	0,50	178	2111	118	2171	724
30		469	2635	141	2962	987
20		487	2079	136	2430	810
25	0,60	257	2533	170	2620	873
30		676	3161	204	3634	1211

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 6. Rangkuman Nilai Daya Dukung Fondasi Tiang Tunggal Bentuk Persegi Metode Mayerhof (1976)

L (m)	D (m)	Q_p (kN)	Q_s (kN)	W_p (kN)	Q_{ult} (kN)	Q_{all} (kN)
20		349	1985	97	2237	746
25	0,45	184	2419	122	2481	827
30		484	3019	146	3357	1119
20		430	2206	120	2516	839
25	0,50	227	2688	150	2765	922
30		598	3354	180	3772	1257
20		620	2647	173	3094	1031
25	0,60	327	3225	216	3336	1112
30		861	4025	259	4627	1542

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 7. Rangkuman Nilai Daya Dukung Fondasi Tiang Tunggal Bentuk Lingkaran Metode L'Decourt (1982)

L (m)	D (m)	Q_p (kN)	Q_s (kN)	W_p (kN)	Q_{ult} (kN)	Q_{all} (kN)
20		278	2006	76	2208	736
25	0,45	539	2570	95	2478	1005
30		875	3369	115	3600	1377

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 8. Rangkuman Nilai Daya Dukung Fondasi Tiang Tunggal Bentuk Lingkaran Metode L'Decourt (1982) Lanjutan

L (m)	D (m)	Q _p (kN)	Q _s (kN)	W _p (kN)	Q _{ult} (kN)	Q _{all} (kN)
20		344	2228	94	3014	826
25	0,50	666	2856	118	3403	1134
30		1080	3744	141	4400	1561
20		896	2840	136	4130	1200
25	0,60	1143	3427	170	4683	1467
30		1756	4723	204	6275	2092

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 9. Rangkuman Nilai Daya Dukung Fondasi Tiang Tunggal Bentuk Persegi Metode L'Decourt (1982)

L (m)	D (m)	Q _p (kN)	Q _s (kN)	W _p (kN)	Q _{ult} (kN)	Q _{all} (kN)
20		354	2554	97	2811	937
25	0,45	686	3272	122	3837	1279
30		1114	4290	146	5258	1753
20		438	2837	120	3155	1052
25	0,50	847	3636	150	4334	1445
30		1375	4767	180	5962	1987
20		1140	3616	173	4584	1528
25	0,60	1455	4363	216	5603	1868
30		2236	6013	259	7990	2663

Sumber: Hasil perhitungan

Perhitungan Nilai Daya Dukung Tiang Kelompok

Berdasarkan perbandingan hasil dari metode perhitungan Mayerhof (1976) dan metode L'Decourt (1982), akan digunakan metode Mayerhof (1976) untuk perhitungan selanjutnya, karena metode ini bersifat konservatif dengan perhitungan nilai Q_s yang lebih teliti, perhitungan nilai Q_s mempertimbangkan setiap jenis konsistensi tanahnya. Berikut ini akan dijabarkan mengenai langkah-langkah dalam perhitungan daya dukung tiang kelompok. Untuk contoh perhitungan akan menggunakan beban dari K1-1, dengan contoh perhitungan dimensi tiang pancang yang akan digunakan adalah Ø 0,6m dan dengan kedalaman 30m. Berikut ini Langkah perhitungannya:

a. Perhitungan tiang pancang bentuk lingkaran:

- Perencanaan jumlah tiang

$$n = \frac{Q_v}{Q_{all}} = \frac{7563,6471}{1211,23} = 7 \text{ buah}$$

- Perencanaan jarak antar tiang

a. Jarak minimum antar tiang

$$d \geq 2,5D \\ 1,8 \geq 2,5 \times 0,6 \\ 1,8 \geq 1,5 \quad (\text{OK})$$

b. Jarak maksimum antar tiang

$$d \leq 3,5D$$

$$1,8 \leq 3,5 \times 0,6$$

$$1,8 \leq 2,1 \quad (\text{OK})$$

- Menghitung nilai L_g dan B_g

a. Menghitung nilai L_g untuk bentuk lingkaran:

$$L_g = [(n_1 - 1) \times d] + \left[2 \times \frac{D}{2}\right] \\ = [(3 - 1) \times 1,8] + \left[2 \times \frac{0,6}{2}\right] \\ = 4,2 \text{ meter}$$

b. Menghitung nilai B_g untuk bentuk lingkaran:

$$B_g = [(n_1 - 1) \times d] + \left[2 \times \frac{D}{2}\right] \\ = [(2,732 - 1) \times 1,8] + \left[2 \times \frac{0,6}{2}\right] \\ = 3,7 \text{ meter}$$

- Efisiensi tiang kelompok

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \\ = 1 - \theta \frac{(2,334 - 1)3 + (3-1)2,334}{90(2,334 \times 3)} \\ = 0,75$$

- Daya dukung kelompok

$$Q_{all(\text{group})} = E_g \times N \times Q_{all} \\ = 0,75 \times 7 \times 1211,23 \\ = 6328,19 \text{ kN} < 7563,6471 \text{ kN}$$

Setelah didapatkan nilai daya dukung tiang kelompok, selanjutnya dilakukan kontrol hitungan, dimana nilai Q_{all (group)} < Q_v maka kontrol = **Tidak Ok**, oleh karena itu untuk tiang pancang dengan bentuk lingkaran ditambahkan jumlah tiang nya, menjadi 9 buah tiang pancang sehingga perhitungannya sebagai berikut:

- Melakukan perhitungan ulang untuk nilai efisiensi kelompok tiang yang baru:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \\ = 1 - \theta \frac{(3-1)3 + (3-1)3}{90(3 \times 3)} \\ = 0,73$$

- Melakukan perhitungan ulang untuk nilai daya dukung kelompok tiang yang baru:

$$Q_{all(\text{group})} = E_g \times N \times Q_{all} \\ = 0,73 \times 9 \times 1211,23 \\ = 7923,86 \text{ kN} > 7563,6471 \text{ kN}$$

Karena nilai Q_{all (group)} > Q_v maka kontrol = **Ok**

b. Perhitungan tiang pancang bentuk persegi:

- Perencanaan jumlah tiang

$$n = \frac{Q_v}{Q_{all}} = \frac{7563,6471}{1542,22} = 5 \text{ buah}$$

- Perencanaan jarak antar tiang

c. Jarak minimum antar tiang

$$\begin{aligned} d &\geq 2,5D \\ 1,8 &\geq 2,5 \times 0,6 \\ 1,8 &\geq 1,5 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

d. Jarak maksimum antar tiang

$$\begin{aligned} d &\leq 3,5D \\ 1,8 &\leq 3,5 \times 0,6 \\ 1,8 &\leq 2,1 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Menghitung nilai L_g dan B_g

c. Menghitung nilai L_g untuk bentuk lingkaran:

$$\begin{aligned} L_g &= [(n_1 - 1) \times d] + \left[2 \times \frac{D}{2} \right] \\ &= [(2 - 1) \times 1,8] + \left[2 \times \frac{0,6}{2} \right] \\ &= 2,4 \text{ meter} \end{aligned}$$

d. Menghitung nilai B_g untuk bentuk lingkaran:

$$\begin{aligned} B_g &= [(n_1 - 1) \times d] + \left[2 \times \frac{D}{2} \right] \\ &= [(2 - 1) \times 1,8] + \left[2 \times \frac{0,6}{2} \right] \\ &= 2,4 \text{ meter} \end{aligned}$$

- Efisiensi tiang kelompok

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \\ &= 1 - \theta \frac{(2-1)5 + (2,5-1)2}{90(2 \times 2,5)} \\ &= 0,77 \end{aligned}$$

- Daya dukung kelompok

$$\begin{aligned} Q_{\text{all (group)}} &= E_g \times N \times Q_{\text{all}} \\ &= 0,77 \times 5 \times 1542,22 \\ &= 5973,66 \text{ kN} < 7563,6471 \text{ kN} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai daya dukung tiang kelompok, selanjutnya dilakukan kontrol hitungan, dimana nilai $Q_{\text{all (group)}} < Q_v$ maka kontrol = **Tidak Ok**, oleh karena itu untuk tiang pancang dengan bentuk persegi ditambahkan jumlah tiang nya, menjadi 7 buah tiang pancang sehingga perhitungannya sebagai berikut:

- Melakukan perhitungan ulang untuk nilai efisiensi kelompok tiang yang baru:

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \\ &= 1 - \theta \frac{(2,334-1)3 + (3-1)2,334}{90(2,334 \times 3)} \\ &= 0,75 \end{aligned}$$

- Melakukan perhitungan ulang untuk nilai daya dukung kelompok tiang yang baru:

$$\begin{aligned} Q_{\text{all (group)}} &= E_g \times N \times Q_{\text{all}} \\ &= 0,75 \times 7 \times 1542,22 \\ &= 8110,41 \text{ kN} > 7563,6471 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena nilai $Q_{\text{all (group)}} > Q_v$ maka kontrol = **Ok**

Rekapitulasi nilai daya dukung tiang kelompok sebagai berikut:

Tabel 10. Daya Dukung Tiang Kelompok Bentuk Lingkaran

Kolom	Q_v (kN)	Q_{all}	n	E_g (%)	$Q_{\text{all(g)}}$	Cek
K1-1	7564	1211	9	0,73	7924	Ok
K1-2	6100	1211	7	0,75	6329	Ok
K1-3	5628	1211	7	0,75	6329	Ok
K2-1	6404	1211	8	0,74	7209	Ok
K2-2	4775	1211	6	0,76	5531	Ok
K2-3	3489	1211	4	0,80	3853	Ok
K3-1	4195	1211	5	0,77	4692	Ok
K3-2	2920	1211	3	0,83	3013	Ok
K4-1	1322	1211	2	1,00	2422	Ok

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 11. Daya Dukung Tiang Kelompok Bentuk Persegi

Kolom	Q_v (kN)	Q_{all}	n	E_g (%)	$Q_{\text{all(g)}}$	Cek
K1-1	7564	1542	7	0,75	8110	Ok
K1-2	6100	1542	6	0,76	7042	Ok
K1-3	5628	1542	5	0,77	5974	Ok
K2-1	6404	1542	6	0,76	7042	Ok
K2-2	4775	1542	4	0,80	4905	Ok
K2-3	3489	1542	3	0,83	3837	Ok
K3-1	4195	1542	4	0,80	4905	Ok
K3-2	2920	1542	3	0,83	3837	Ok
K4-1	1322	1542	1	1,00	1542	Ok

Sumber: Hasil perhitungan

Perhitungan Penurunan

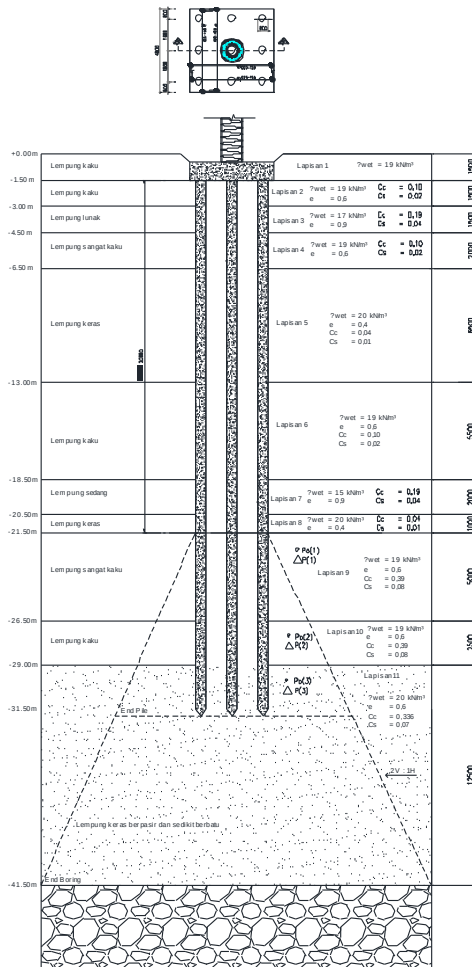
Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, untuk jenis tanah yang ada pada lokasi pembangunan adalah tanah lempung (clay) oleh karena itu terjadi 2(dua) macam penurunan yaitu penurunan elastis dan penurunan konsolidasi, untuk contoh penurunan sama dengan daya dukung menggunakan fondasi tiang pancang dengan bentuk lingkaran yang memiliki ukuran penampang sebesar $\varnothing 0,6\text{m}$ dan dengan kedalaman 30m, baik tiang pancang berbentuk lingkaran dan persegi langkah-langkahnya sama, untuk perhitungan penurunannya sebagai berikut:

- Penurunan Elastis

$$\begin{aligned} S_{g(e)} &= \frac{0,92 \cdot q \cdot \sqrt{B_g}}{\bar{N}} \cdot I \\ &= \frac{Q_g}{(L_g \times B_g)}, Q_g = 7923,86 \text{ kN} = 807996,42 \text{ Kg} \\ q &= \frac{807996,42}{(420 \times 420)} \\ &= 4,580 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 1 - \frac{L_g}{8 \times B_g} \geq 0,50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 0,9 \geq 0,50 \text{ (Ok)} \\ &= 36 \\ S_{g(e)} &= \frac{0,92 \cdot q \cdot \sqrt{Bg}}{\bar{N}} \cdot I \\ &= \frac{0,92 \cdot 4,580 \cdot \sqrt{420}}{36} \cdot 0,9 \\ &= 2,08 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Penurunan Konsolidasi



Gambar 2. Penurunan Konsolidasi

Perhitungan penurunan konsolidasi kolom K1-1 dengan bentuk tiang pancang lingkaran sebagai berikut:

- Perhitungan nilai P_{01} dan Δ_{p1} ada pada lapisan ke sembilan

- a. Melakukan perhitungan nilai P_{01}

$$\begin{aligned} P_{o1} &= (1,5 \times 19) + (1,5 \times 19) + (1,5 \times 17) + (2 \\ &\quad \times 19) + (6,5 \times 20) + (5,5 \times 19) + (2 \times \\ &\quad 15) + (1 \times 20) + (2,5 \times 19) \\ &= 452,5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- b. Melakukan perhitungan penambahan tegangan tiap lapisan (Δp_1)

$$\Delta p_1 = \frac{Q_g}{(B_g + z_i)(L_g + z_i)}$$

$$= \frac{7923,86}{(4,200 + 2,5)(4,200 + 2,5)}$$
$$= 176,52 \text{ kN/m}^2$$

c. Menentukan nilai OCR:

$$\begin{aligned}\text{OCR} &= \frac{P_{c1}}{P_{o1}} \\ &= \frac{674,31}{452,5} \\ &= 1\end{aligned}$$

Karena nilai OCR = 1, maka tanah tersebut bersifat NC (*Normally Consolidated*). Untuk nilai perhitungan korelasi P_{c1} didapatkan dengan cara berikut ini:

PC₁ = $67N^{0.83}$

= Langkah pertama, nilai N-SPT (N) di hitung menggunakan logaritma natural (Ln). Nilai N-SPT pada kedalaman ini adalah 16. Oleh karena itu Ln dari 16 hasilnya 2,78 yang kemudian hasil tersebut dikalikan dengan nilai 0,83 = 2,31, setelah itu dilakukan perhitungan eksponensial nilai Ln, didapatkan hasil 10,06. Setelah didapatkan nilai N akhir, masukkan kedalam rumus berikut:

$$\begin{aligned} P_{C1} &= 67N^{0.83} \\ &= 67 \times 16^{0.83} \\ &= \mathbf{674,31 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

d. Menentukan perhitungan penurunan konsolidasi

$$\begin{aligned} S_{cl} &= \frac{C_c \times H_c}{(1+e_o)} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \\ &= \frac{0,39 \times 5}{(1+0,6)} \log \frac{452,5 + 176,52}{452,5} \\ &= 0,0076 \text{ m} = 0,76 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan lapisan 2 dan 3 caranya sama, sehingga didapatkan nilai penurunan untuk lapisan 2 dan 3 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S_{c2} &= 0,004 \text{ m} = 0,4 \text{ cm} \\ S_{c3} &= 0,0024 \text{ m} = 0,24 \text{ cm} \\ \Delta_s &= S_{c1} + S_{c2} + S_{c3} \\ &= 0,76 + 0,4 + 0,24 \\ &= 1,35 \text{ cm} \\ \Delta_{\text{stot}} &= \text{Penurunan elastis} + \\ &\quad \text{konsolidasi} \\ &= 2,08 + 1,35 \\ &= 3,44 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dengan kontrol persyaratan penurunan ijin yaitu:

Penurunan ijin (S_{ijin}) adalah $< 15 \text{ cm} + \frac{b}{600} = 15,52 \text{ cm}$

$$\text{Penurunan total (S}_{\text{tot}}) < \text{Penurunan ijin (S}_{\text{ijin}})$$

3,58 cm < 15,52 cm (Ok)

Rekapitulasi nilai penurunan tiang kelompok baik yang berbentuk persegi maupun lingkaran sebagai berikut:

Tabel 12. Rekapitulasi Nilai Penurunan Total Setiap Jenis *Pile Cap* (Lingkaran)

Tipe PC	S _e (cm)	S _c (cm)	S _{tot} (cm)	S _{ijin} (cm)	Kontrol
PC1-1	2,08	1,35	3,44	15,52	Aman
PC1-2	1,87	1,35	3,22	15,52	Aman
PC1-3	1,87	1,35	3,22	15,52	Aman
PC2-1	2,13	1,35	3,49	15,52	Aman
PC2-2	1,72	1,35	3,07	15,52	Aman
PC2-3	2,35	1,35	3,69	15,52	Aman
PC3-1	1,90	1,35	3,24	15,52	Aman
PC3-2	2,10	1,34	3,44	15,52	Aman
PC4-1	1,69	1,34	3,03	15,52	Aman

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 13. Rekapitulasi Nilai Penurunan Total Setiap Jenis *Pile Cap* (Persegi)

Tipe PC	S _e (cm)	S _c (cm)	S _{tot} (cm)	S _{ijin} (cm)	Kontrol
PC1-1	2,22	1,36	3,58	15,52	Aman
PC1-2	2,19	1,36	3,55	15,52	Aman
PC1-3	2,42	1,35	3,78	15,52	Aman
PC2-1	2,19	1,36	3,55	15,52	Aman
PC2-2	2,99	1,36	4,34	15,52	Aman
PC2-3	2,67	1,33	4,03	15,52	Aman
PC3-1	2,99	1,36	4,34	15,52	Aman
PC3-2	2,67	1,35	4,03	15,52	Aman
PC4-1	7,51	1,34	8,85	15,52	Aman

Sumber: Hasil perhitungan

- Tulangan *Pile Cap*

Setelah melakukan perhitungan penulangan untuk tiang pancang, baik tiang pancang dengan bentuk lingkaran maupun bentuk persegi, di dapatkan hasil untuk jenis tulangan yang aman yaitu tulangan utama atas dan bawah menggunakan besi ulir D25-150 dan besi ulir D16-150 untuk tulangan pinggang.

- Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan yang digunakan pada pembangunan GKB-V Universitas Muhammadiyah Malang meliputi:

1. Pekerjaan persiapan, meliputi:
 - a. Pembersihan lahan
 - b. Pemilihan alat pemancangan
 - c. Mobilisasi alat dan bahan tiang pancang
 - d. Pekerjaan pengukuran letak titik pancang
2. Pekerjaan pemancangan, meliputi:
 - a. Pengecekan syarat mutu dan *checking* tiang pancang
 - b. Mobilisasi alat dan bahan tiang pancang ke titik pemancangan

c. *Crosscheck* titik tiang pancang

d. Proses pemancangan

3. Pekerjaan *pile cap*

- a. Pekerjaan galian tanah
- b. Pekerjaan urugan pasir
- c. Pekerjaan pemadatan tanah
- d. Pekerjaan pengecoran lantai kerja
- e. Pekerjaan pemotongan kepala tiang pancang
- f. Pekerjaan pembesian dan bekisting
- g. Pekerjaan pengecoran *pile cap*

- Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Total biaya yang diperlukan untuk pekerjaan fondasi tiang pancang pada proyek GKB-V Universitas Muhammadiyah Malang sebesar Rp. 11.050.337.430 untuk tiang pancang dengan bentuk lingkaran dan Rp. 10.072.727.178 untuk tiang pancang dengan bentuk persegi.

4. KESIMPULAN

Berikut ini merupakan beberapa kesimpulan yang telah didapatkan dari penelitian ini:

- a. Setelah melakukan analisis struktur atas menggunakan *software* ETABS v.20 dengan nilai terbesar beban ASD dan LRFD ada pada K1-1, untuk beban ASD = 7563,6471 kN dan LRFD = 9947,0938 kN.
- b. Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) fondasi tiang pancang pada proyek GKB-V Universitas Muhammadiyah Malang, diperoleh bahwa fondasi dengan diameter 0,6 meter dan dengan panjang tiang pancang 31 meter yang menggunakan metode kombinasi dari Mayerhof (1976) untuk Q_p dan Thomlinson (1997) untuk Q_s , memberikan nilai daya dukung paling aman karena untuk nilai Q_s nya di perhitungkan lapis demi lapis jenis tanahnya, dengan demikian untuk nilai daya dukung kelompok tiang terbesar $Q_{all(group)}$ ada pada K1-1, pada bentuk tiang pancang lingkaran menghasilkan $Q_{all(group)}$ sebesar 7923,8641 kN > Q_v 7563,6471 kN dengan jumlah tiang pancang 9 di dalam satu *pile cap*, dan bentuk persegi sebesar 8110,4065 kN > 7563,6471 kN dengan jumlah tiang pancang 7 di dalam satu *pile cap*.
- c. Berdasarkan point b, maka didapatkan dimensi akhir fondasi tiang pancang yang digunakan yaitu fondasi dengan diameter 0,6 meter dan dengan panjang tiang pancang 31 meter.
- d. Setelah dilakukan perhitungan untuk penurunan (*settlement*) pada perencanaan fondasi tiang pancang proyek GKB-V Universitas Muhammadiyah Malang, baik untuk tiang pancang dengan bentuk lingkaran dan persegi, hasilnya adalah penurunan total < penurunan ijin.

- Untuk penurunan K1-1 pada tiang pancang dengan bentuk penampang lingkaran menghasilkan nilai penurunan $3,44 < 15,52$ (aman), dan untuk bentuk penampang persegi menghasilkan penurunan sebesar $3,58 < 15,52$ (aman).
- e. Untuk metode pelaksanaan pemancangan tiang pancang pada Proyek Gedung Kuliah Bersama-V (GKB-V) Universitas Muhammdiyah Malang menggunakan jenis metode *Hydraulic Jack-In Pile* dengan alat yang digunakan adalah *Hydraulic Static Pile Driver* (HSPD).
- f. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan fondasi pada Proyek Gedung Kuliah Bersama-V (GKB-V) Universitas Muhammdiyah Malang sebesar Rp. 11.050.337.430 untuk tiang pancang dengan bentuk lingkaran dan Rp. 10.072.727.178 untuk tiang pancang dengan bentuk persegi.
- [12] Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. SNI 1727-2020. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [13] Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. SNI 1726-2019. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [14] Badan Standarisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. SNI 8460-2017. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [15] Adhimix PCI Indonesia. *Precast Pile*. Jakarta: Member of PT Adhimix Precast Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. J. Divani and A. Prihatiningsih, "Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Spun Dan Persegi Pada Tanah Berbutir Halus Dan Kasar," *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 381–392, 2024, doi: 10.24912/jmts.v7i2.28044.
- [2] A. Yusti and F. Fahriani, "Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi Dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzer Test Dan CAPWAP," *J. Frofil*, vol. 2, no. 1, pp. 19–31, 2014.
- [3] N. S. Triastuti, *Berbagai macam pondasi*. 2022.
- [4] M. K. Wardani, A. I. D. Syafiarti, G. S. Utami, L. L. Lestari, and G. E. Mareta, "Analisa Perbandingan Daya Dukung Dan Penurunan Terhadap Variasi Bentuk Penampang Fondasi Tiang Pancang," *J. Kacapuri J. Keilmuan Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, p. 206, 2023, doi: 10.31602/jk.v6i2.12880.
- [5] Das, Braja. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga
- [6] Das, Braja. M. (2019). *Principles of Foundation Engineering Ninth Edition*. California, USA: California State University Sacramento.
- [7] Hardiyatmo, J.C. (2020). *Analisis dan PerancanganFondasi Bagian I*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- [8] Hardiyatmo, J.C. (2022). *Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian II*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- [9] Badan Standarisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*. SNI 4153-2008. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [10] Badan Standarisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. SNI 8450-2017. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [11] Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Bangunan Gedung*. SNI 2847-2019. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.