

ALTERNATIF DESAIN FONDASI TIANG PANCANG PADA PILAR P9A – P11A FLYOVER ALOHA SIDOARJO - MRK

Alda Dwi Cecilia^{1*}, Moch. Sholeh², Sugeng Riyanto³

Mahasiswa Program Diploma IV- Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Program Diploma IV- Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Program Diploma IV- Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang³

Koresponden*, Email: aldadwicecilia777@gmail.com¹ moch.sholeh@polinema.ac.id² sugeng.riyanto@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Proyek pembangunan *Flyover* Aloha memiliki struktur dari jalan akses Bandara Juanda menuju Surabaya sepanjang 423 meter (FO B) dan Sidoarjo menuju Bandara Juanda sepanjang 435 meter (FO A). Fondasi eksisting yang digunakan adalah fondasi borpile dengan menggunakan casing. Casing tersebut ditinggalkan di dalam tanah sebagai cangkang permanen. Hal tersebut akan sangat menentukan dari segi biaya, mengingat cangkang tersebut terbuat dari baja. Oleh karenanya, penulis merencanakan kembali jenis fondasi yang digunakan tersebut sebagai alternatif desain fondasi, yaitu menggunakan Fondasi Tiang Pancang. Perencanaan ini bertujuan untuk merencanakan fondasi yang lebih efisien dan efektif dari segi biaya, lama waktu proses pekerjaan. Pada perencanaannya, penulis hanya meninjau berdasarkan beberapa sampel titik (P9A, P10A, dan P11A) sebagai acuan perhitungan perencanaan. Pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) dilakukan hingga kedalaman 60 m dan diketahui jenis tanah dominan lempung. Metode perhitungan pembebanan menggunakan perhitungan manual dan menggunakan aplikasi *StaadPro V8i*. Hasil dari analisis perhitungan pembebanan struktur atas diperoleh sebesar 13196,426 kN. Metode perhitungan daya dukung tiang menggunakan rumus dari Mayerhoff (1976) dan Vesic (1977). Hasil dari perencanaan fondasi tiang pancang ini diperoleh dimensi fondasi berdiameter 1 m, panjang 45 m, dan tiang sebanyak 9 buah. Mengingat lokasi pelaksanaan berada pada pusat keramaian, penulis menggunakan metode *Hidraulic Jack In* sebagai alternatif untuk mengurangi gangguan sekitar selama pekerjaan berlangsung. Nilai Rencana Anggaran Biaya pada pekerjaan fondasi tiang pancang pada satu pilar yang ada di *Flyover* Aloha Sidoarjo adalah sebesar Rp. 1,089,194,799.57.

Kata kunci : *flyover*, alternatif desain, fondasi tiang pancang, pilar, SPT, *hydraulic jack in*.

ABSTRACT

*The Aloha Flyover construction project has a structure from the 423-meter Juanda Airport access road to Surabaya (FO B) and the 435-meter Sidoarjo to Juanda Airport (FO A). The existing foundation used is a borpile foundation using a casing. The case is left in the ground as a permanent shell. This will be very decisive in terms of cost, considering that the foundation is made of steel. Therefore, the author re-plans the type of foundation used as an alternative to foundation design. This planning aims to plan a foundation that is more efficient and effective in terms of cost, length of work process. The point of analyse is review based on several center point (P9A, P10A, and P11A) as a reference for planning calculations. SPT (Standard Penetration Test) testing is carried out to a depth of 60 m and the test result form 60 m is dominant of clay. The method of calculating the load uses manual calculation and uses the *StaadPro V8i* application. The results of the analysis of the calculation of the loading of the superstructure were obtained at 13196.426 kN. The result of calculating structure loading used as Q_v (superstructure load) value to design the foundation plan. The method of calculating the bearing capacity of the pole uses the formula from Mayerhoff (1976) and Vesic (1977). The results of the pile foundation plan obtained dimensions of diameter 1 m, a length of 45 m, and as many as 9 pieces. Considering that the location of the implementation is in a downtown, the construction methode using to reduce disturbances during the work. The value of the Cost Budget Plan for pile foundation in a pillar in the Aloha Sidoarjo Flyover is Rp. 1,089,194,799.57.*

Keywords : *flyover*, alternative design, pile foundation, pillar, SPT, *hydraulic jack in*

1. PENDAHULUAN

Fondasi yang digunakan pada flyover Aloha yaitu, fondasi borpile dengan menggunakan casing (cangkang pelindung) agar lubang bor tidak mengalami keruntuhan. Casing yang digunakan pada fondasi borpile FO Aloha tidak di tarik kembali, melainkan ditinggalkan di dalam tanah sebagai cangkang permanen. Melihat dari kondisi tersebut, akan sangat menentukan dari segi biaya fondasinya dengan mengingat bahwa cangkang tersebut terbuat dari baja. Oleh karenanya, pada pembahasan ini penulis merencanakan kembali jenis fondasi yang digunakan pada FO Aloha sebagai alternatif desain fondasi, yaitu menggunakan Fondasi Tiang Pancang yang lebih efisien dan efektif dari segi biaya, lama waktu proses pekerjaan, serta tingkat mutu beton yang lebih terjamin jika dibandingkan dengan fondasi tiang bor (borpile).

2. METODE

Pengumpulan Data

Mencari dan mengumpulkan data dan informasi yang dibutuhkan terkait perencanaan fondasi tiang pancang, meninjau dan mempelajari studi pustaka untuk menyelesaikan permasalahan, melaksanakan studi lapangan mengenai proyek yang berkaitan dengan perencanaan fondasi tiang pancang pada flyover / jembatan.

Pengolahan Data

1. Perhitungan pembebanan struktur atas jembatan, perencanaan fondasi tiang pancang yang meliputi :
2. Merencanakan dimensi fondasi tiang pancang.
3. Menghitung kuat dukung 1 fondasi.
4. Menentukan efisiensi kelompok tiang dengan jumlah fondasi yang dierncanakan.
5. Menghitung daya dukung kelompok tiang.
6. Melakukan kontrol terhadap daya dukung ijin kelompok tiang.
7. Kemudian juga dilakukan kontrol terhadap penurunan kelompok tiang yaitu penurunan segera dan penurunan konsolidasi (apabila pada tanah lempung).
8. Serta dilakukan kontrol terhadap tegangan
9. Apabila kontrol aman, maka dapat dilanjutkan dengan menggambar detail fondasi tersebut, namun apabila tidak aman akan dilakukan perencanaan ulang untuk fondasi tiang pancang tersebut.

Metode pelaksanaan pekerjaan fondasi tiang pancang yang direncanakan penulis kali ini adalah menggunakan metode hidrolik (metode hidraulic jack in), yang mana mengingat bahwa lokasi pelaksanaan proyek ini berada pada daerah yang memiliki padat aktivitas dan padat pemukiman sehingga akan sangat lebih baik jika pemancangan dilakukan dengan menggunakan metode ini.

A. Pembebanan Struktur Atas

Pada perhitungan pembebanan struktur atas dan pembebanan pada pilar ini mengacu pada SNI (1725 – 2016) [1] untuk Peraturan Pembebanan pada Jembatan dan SNI (2833 – 2016) [2] untuk Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa. Dalam perhitungan pembebanan struktur atas pada perencanaan fondasi ini dilakukan dengan perhitungan manual, kemudian untuk analisa pembebanan pada pilar dilakukan dengan menggunakan aplikasi / *Software* *StaadPro V8i*.

B. Perencanaan Fondasi Tiang Pancang

1. Korelasi Parameter Tanah

Korelasi parameter tanah digunakan untuk mencari parameter – parameter yang tidak tersedia pada data. Berikut merupakan nilai korelasi yang dicari pada perencanaan fondasi tiang pancang ini :

- a. Korelasi antara Nilai Kohesi (c_u) dengan N-SPT Pada Tanah Lempung menurut Terzaghi dan Peck (1967)

Consistency	N	Cu (kN/m ²)
Very Soft	0 - 2	< 12
Soft	2 - 4	12 - 25
Medium	4 - 8	25 - 50
Stiff	8 - 15	50 - 100
Very Stiff	15 - 30	100 - 200
Hard	> 30	> 200

- b. Korelasi antara Nilai γ_{sat} dengan N-SPT

Menurut Terzaghi dan Peck (1943) terdapat hubungan antara angka pori dengan nilai *Standard Penetration Test* :

N-SPT	Konsistensi	Undrained Compression Strength, q_u (tons/ft ²)	γ_{sat} (kN/m ²)
0 - 2	Very Soft	< 0.25	16 - 19
2 - 5	Soft	1.25 - 0.5	16 - 20
5 - 10	Medium Stiff	0.5 - 1	17 - 20
10 - 20	Stiff	1 - 2	19 - 22
20 - 30	Very Stiff	2 - 4	19 - 22
> 30	Hard	> 4	19 - 22

- c. Korelasi antara Nilai N-SPT dengan Angka Pori (e_0) menurut (Anbazhagan et al., 2017) [3]

$e = 0,89N - 0,12$ ($R2 = 0,71$) → untuk jenis tanah berbutir halus.

- d. Korelasi antara Angka Pori (e_0) dengan Indeks Kompresibilitas (C_c)

Menurut (Wahyudi, 1997) [4] nilai Cc untuk jenis tanah all clay dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$C_c = 0,156 e_0 + 0,0107 \rightarrow \text{untuk tanah jenis allclay}$$

2. Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang

a. Perhitungan Tahanan Ujung Tiang (Qp) :

Mayerhoff (1976)

Perhitungan Qp dalam buku (B. M. Das, 2019) [5], menurut Mayerhoff (1976) sebagai berikut :

$$Q_p \approx N_c^* \cdot c_u \cdot A_p = 9 \cdot c_u \cdot A_p$$

Vesic (1977)

Sedangkan, perhitungan Qp dalam buku (B. M. Das, 2019) menurut Vesic (1977) [5] sebagai berikut :

$$Q_p = A_p \cdot q_p = N_c^* \cdot c_u \cdot A_p$$

b. Perhitungan Tahanan Gesek Selimut (Qs)

Perhitungan Qs pada perencanaan ini mengacu pada buku (B. M. Das, 2019) [5] dengan menggunakan terori sebagai berikut :

Terzaghi (1996)

$$Q_s = \Sigma P \cdot \Delta L \cdot f_{av}$$

Dimana :

- Qs = daya dukung selimut tiang (kN)
- fav = unit friksi tiang rata-rata (kN/m²)
- P = keliling tiang (m)
- L = panjang tiang (m)

Dengan nilai fav menurut (Terzaghi 1996) dalam Braja M. Das 9th Edition 2019 [5] adalah sebagai berikut :

$$f_{av} = \alpha \cdot c_u$$

Nilai α diperoleh dari Tabel berikut menurut (Terzaghi 1996) :

cu / pa	α
≤ 0.1	1
0.2	0.92
0.3	0.82
0.4	0.74
0.6	0.62
0.8	0.54

cu / pa	α
1.0	0.48
1.2	0.42
1.4	0.4
1.6	0.38

1.8	0.36
2.0	0.35
2.4	0.34
2.8	0.34

(Sumber : M.Das 9th Edition 2019)

API (2007)

Serta menurut (API 2007) nilai fav diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$f_{av} = [0,5 \cdot (C_u \cdot \sigma_0)^{0,5}] \text{ atau}$$

$$[0,5 \cdot (C_u)^{0,75} \cdot (\sigma_0)^{0,25}]$$

*Noted : dipilih nilai terbesar diantara keduanya.

Dengan nilai σ_0 adalah sebagai berikut :

$$\sigma_0 = \gamma' \cdot \Delta L$$

c. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Ultimit (Qu) dan Kapasitas Daya Dukung Ijin (Qall)

Untuk menghitung kapasitas daya dukung ultimate (Qu) dan kapasitas daya dukung ijin tiang (Qall) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

3. Penentuan Jumlah Tiang

$$n = \frac{Q_v}{Q_{all}}$$

- n = jumlah tiang
- Qv = beban vertikal yang bekerja
- Qu = kapasitas dukung ijin

4. Kontrol Jarak Tiang

Disarankan agar jarak antara tiang dalam kelompok mempunyai jarak minimum d = 2.5D, dan secara umum jarak ini dibuat antara d = 3 – 3,5D dengan D adalah diameter tiang.

5. Daya dukung Tiang Kelompok

$$Q_g(u) = L_g \cdot B_g \cdot c_{u(p)} \cdot N_c^* + \sum 2(L_g + B_g) \cdot c_u \Delta L$$

Dengan :

Qg(u) = Kapasitas ultimit kelompok, nilainya harus tidak melampaui n.Qu (kN)

- Bg = Lebar kelompok tiang (m)
- Lg = Panjang kelompok tiang (m)
- L = Panjang tiang (m)
- ΔL = Kedalaman tiang (m)
- n1 = Banyak tiang arah x
- n2 = Banyak tiang arah y

C. Penurunan Fondasi

Penurunan total konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus dalam buku (B. M. Das, 2019) [5], sebagai berikut:

$$\Delta s(g)_{total} = \sum \Delta s_i$$

$$\Delta s_i = \left[\frac{Cc(i) \cdot H(i)}{1 + e_o(i)} \right] \cdot \log \left[\frac{P_o(i) + \Delta p(i)}{P_o(i)} \right]$$

Dimana :

Δs_g : penurunan total konsolidasi pada lapisan kelompok tiang

Δs_i : penurunan konsolidasi pada lapisan ke – i

Menurut SNI (8460-2017) [6] Persyaratan Perancangan Geoteknik, batas Penurunan izin < 15 cm + b/600 (b dalam satuan cm) untuk bangunan tinggi dan bisa dibuktikan struktur atas masih aman.

D. Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan pekerjaan fondasi tiang pancang yang direncanakan penulis kali ini adalah menggunakan metode hidrolik (metode *hidraulic jack in*).

E. Rencana Anggaran Biaya

Berikut adalah tahapan yang harus diperhatikan dalam menyusun anggaran biaya :

1. Mempersiapkan gambar kerja.
2. Menyusun item pekerjaan dan menghitung volume pekerjaan.
3. Membuat Daftar Harga Satuan Upah, Material dan Alat.
4. Membuat Analisa Harga Satuan Pekerjaan.
5. Menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembebanan Struktur Atas

Output dari analisis pada software tersebut, diperoleh nilai beban aksial terbesar dari fondasi sebesar 4686,724 kN akibat dari kombinasi pembebanan oleh ekstrem I, dengan nilai momen maksimal arah Y adalah 1572 kN akibat dari kombinasi pembebanan ekstrem I, nilai momen maksimal arah X adalah 3401 kN akibat dari kombinasi pembebanan ekstrem I serta nilai beban horizontal terbesar adalah 1540,58 kN. Dan untuk beban vertikal (Qv) maksimal yang bekerja pada struktur pilar pada perencanaan ini adalah sebesar 13196,426 kN.

B. Perencanaan Fondasi Tiang Pancang

1. Korelasi Parameter Tanah

Korelasi parameter tanah digunakan untuk mencari parameter – parameter yang tidak tersedia pada data. Berikut merupakan nilai korelasi yang dicari pada perencanaan fondasi tiang pancang ini :

a. Korelasi antara Nilai Kohesi (cu) dengan N-SPT pada Tanah Lempung

No.	Kedalaman (m)	N	N60	N60 rata - rata	cu (kN/m ²)	cu rata-rata (kN/m ²)
1	1	1	1	1	7	7
2	3	2	2	2	14	10
3	5	1	1		7	
4	7	2	2	7	14	45
5	9	11	13		76	
6	11	1	1		7	
7	13	1	1		7	
8	15	1	1		7	
9	17	3	3		21	
10	19	1	1		7	
11	21	1	1		7	
12	23	2	2	2	14	15
13	25	2	2		14	
14	27	1	1		7	
15	29	4	5		28	
16	31	3	3		21	
17	33	4	5		28	
18	35	4	5		28	
19	37	9	10		62	
20	39	50	58	40	345	242
21	41	46	53		317	
22	43	12	14		83	
23	45	10	12	28	69	169
24	47	26	30		179	
25	49	50	58		345	
26	51	50	58		345	
27	53	37	43	51	255	306
28	55	35	40		242	
29	57	50	58		345	
30	59	50	58		345	

b. Korelasi antara Nilai γ_{sat} dengan N-SPT

No.	Kedalaman (m)	N	N60	N60 rata - rata	γ_{sat} (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)
1	1	1	1	1		16.3
2	3	2	2	2	19	9.19
3	5	1	1			
4	7	2	2	7	18.49	8.68
5	9	11	13			
6	11	1	1			
7	13	1	1			
8	15	1	1			
9	17	3	3			
10	19	1	1			
11	21	1	1			
12	23	2	2	2	19	9.19
13	25	2	2			
14	27	1	1			
15	29	4	5			
16	31	3	3			
17	33	4	5			
18	35	4	5			
19	37	9	10			
20	39	50	58	40	22	12.19
21	41	46	53			
22	43	12	14			
23	45	10	12	28	21.45	11.64
24	47	26	30			
25	49	50	58			
26	51	50	58			
27	53	37	43	51	22	12.19
28	55	35	40			
29	57	50	58			
30	59	50	58			

c. Korelasi antara Nilai N-SPT dengan Angka Pori (e₀)

No.	Kedalaman (m)	N	N60	N60 rata - rata	cu (kN/m ²)	cu rata-rata (kN/m ²)	e ₀
1	1	1	1	1	7	7	0.8751979
2	3	2	2	2	14	10	0.8336338
3	5	1	1		7		
4	7	2	2	7	14	45	0.69912795
5	9	11	13		76		
6	11	1	1		7		
7	13	1	1		7		
8	15	1	1		7		
9	17	3	3		21		
10	19	1	1		7		
11	21	1	1	2	7	15	0.79821614
12	23	2	2		14		
13	25	2	2		14		
14	27	1	1		7		
15	29	4	5		28		

16	31	3	3		21		
17	33	4	5		28		
18	35	4	5		28		
19	37	9	10		62		
20	39	50	58	40	345	242	0.57123933
21	41	46	53		317		
22	43	12	14		83		
23	45	10	12	28	69	169	0.59621972
24	47	26	30		179		
25	49	50	58		345		
26	51	50	58		345		
27	53	37	43	51	255	306	0.55516274
28	55	35	40		242		
29	57	50	58		345		
30	59	50	58		345		

$$\sigma_0' = (0 + 24,5) / 2 = 12,225 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} f_{av} &= 0,5 \cdot (C_u \cdot \sigma_0')^{0,5} \\ &= 0,5 \cdot (C_u \cdot (\gamma' \cdot \Delta L))^{0,5} \\ &= 0,5 \cdot (7 \cdot (12,225))^{0,5} \\ &= 4,59 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{av} &= 0,5 \cdot (C_u)^{0,75} \cdot (\sigma_0')^{0,25} \\ &= 0,5 \cdot (C_u)^{0,75} \cdot (\gamma' \cdot \Delta L)^{0,25} \\ &= 0,5 \cdot (7)^{0,75} \cdot (12,225)^{0,25} \\ &= 3,98 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

d. Korelasi antara Angka Pori (e0) dengan Indeks Kompresibilitas (Cc)

No.	Kedalaman (m)	N	N60	N60 rata-rata	cu	cu rata-rata	e0	Cc
					(kN/m ²)	(kN/m ²)		
1	1	1	1	1	7	7	0.8751979	0.1472309
2	3	2	2	2	14	10	0.8336338	0.1407469
3	5	1	1		7			
4	7	2	2	7	14	45	0.6991279	0.119764
5	9	11	13		76			
6	11	1	1		7			
7	13	1	1		7			
8	15	1	1		7			
9	17	3	3		21			
10	19	1	1		7			
11	21	1	1	2	7	15	0.7982161	0.1352217
12	23	2	2		14			
13	25	2	2		14			
14	27	1	1		7			
15	29	4	5		28			
16	31	3	3		21			
17	33	4	5		28			
18	35	4	5		28			
19	37	9	10		62			
20	39	50	58	40	345	242	0.5712393	0.0998133
21	41	46	53		317			
22	43	12	14		83			
23	45	10	12	28	69	169	0.5962197	0.1037103
24	47	26	30		179			
25	49	50	58		345			
26	51	50	58		345			
27	53	37	43	51	255	306	0.5551627	0.0973054
28	55	35	40		242			
29	57	50	58		345			
30	59	50	58		345			

Diambil yang terbesar diantara keduanya yaitu, 4,59 kN/m². Maka besar daya dukung selimut tiang pada kedalaman 0 – 1,5 m adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_s &= \Sigma P \cdot \Delta L \cdot f_{av} \\ &= 3,14 \cdot 1,5 \cdot 4,59 \\ &= 21,629 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Ultimit (Qu) dan Kapasitas Daya Dukung Ijin (Qall)

Untuk menghitung kapasitas daya dukung ultimate (Qu) dan kapsitas daya dukung ijin tiang (Qall) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 1444,2 \text{ kN} + 5490,26 \text{ kN} \\ &= 6934,46 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{all} &= Q_u / SF \\ &= (6934,46) / 2,5 \\ &= 2773,78 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jadi berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada perencanaan fondasi tiang pancang berdiameter 1 m dan panjang 45 m, diperoleh nilai daya dukung ijin untuk tiang tunggal sebesar 2773,78 kN.

2. Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang

a. Perhitungan Tahanan Ujung Tiang (Qp) :

Mayerhoff (1976)

Perhitungan Qp dalam buku (B. M. Das, 2019) [5] menurut Mayerhoff (1976) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_p &= 9 \cdot c_u \cdot A_p \\ &= 9 \cdot 179 \cdot 0,785 \\ &= 1267,461 \text{ kN} \end{aligned}$$

Vesic (1977)

$$\begin{aligned} Q_p &= N_c^* \cdot c_u \cdot A_p \\ &= 11,51 \cdot 179 \cdot 0,785 \\ &= 1620,94 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Tahanan Gesek Selimut (Qs)

(Terzaghi 1996)

$$f_{av} = \alpha \cdot c_u = 0,71 \cdot 45 = 31,95 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_s &= \Sigma P \cdot \Delta L \cdot f_{av} \\ &= 3,14 \cdot 4 \cdot 31,95 \\ &= 399,954 \text{ kN} \end{aligned}$$

API (2007)

$$\sigma_0 = \gamma \cdot \Delta L = 16,3 \cdot 1,5 = 24,5 \text{ kN/m}^2$$

6. Penentuan Jumlah Tiang

$$\begin{aligned} n &= \frac{Q_v}{Q_{all}} \\ n &= \frac{13196,426 \text{ kN}}{2773,78 \text{ kN}} \\ &= 4,76 \approx 5 \text{ tiang} \end{aligned}$$

7. Kontrol Jarak Tiang

Asumsi jarak antar tiang adalah 3 m, maka kontrol jarak tiang adalah sebagai berikut :

$$3 > 2,5 \cdot D$$

$$3 > 2,5 \cdot 1$$

$$3 > 2,5$$

-OK-

8. Daya dukung Tiang Kelompok

$$Qg(u) = Lg \cdot Bg \cdot cu(p) \cdot Nc^* + \sum 2(Lg + Bg) \cdot cu \Delta L$$

$$Qg(u) = (7 \cdot 7 \cdot 1611) + 96026$$

$$= 78939 + 96026$$

$$= 174965 \text{ kN.}$$

Sehingga, daya dukung ijin kelompok tiang adalah sebagai berikut :

$$Qall(g) = Qg/SF$$

$$= 174965/2,5$$

$$= 69986 \text{ kN.}$$

Setelah memperoleh nilai Qv dan Qall, dapat kita tarik kesimpulan bahwa :

$$\begin{array}{ccc} Qall & > & Qv \\ 69986 \text{ kN} & > & 13196,426 \text{ kN} \end{array}$$

-OK-

F. Penurunan Fondasi

Penurunan Elastik Tiang Tunggal

Penurunan Sepanjang Tiang (S_1)

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{(Q_p + \xi Q_s) \cdot L}{A_p E_p} \\ &= \frac{(1444,2 + 0,5 \cdot 5490,26) \cdot 45}{0,785 \cdot 33892182} \\ &= 0,007086 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan Akibat Beban pada Ujung Tiang (S_2)

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D \cdot q_p} \\ &= \frac{1444,2 \cdot 0,02}{1 \cdot 1839,75} \\ &= 0,0157 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan Akibat Beban Sepanjang Kulit Tiang (S_3)

$$\begin{aligned} S_3 &= \frac{Q_{ws} \cdot C_s}{L \cdot q_p} \\ S_3 &= \frac{5490,26 \cdot 0,04}{45 \cdot 1839,75} \\ &= 0,00266 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan Total

$$\begin{aligned} S_e &= S_1 + S_2 + S_3 \\ &= 0,007086 + 0,0157 + 0,00266 \\ &= 0,02544 \text{ m} \\ &= 2,544 \text{ cm} \end{aligned}$$

Penurunan Elastik Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} S_{g(e)} &= \sqrt{\frac{Bg}{D}} \cdot S \\ &= \sqrt{\frac{7}{1}} \cdot 0,02544 \\ &= 0,0673 \text{ m} \\ &= 6,7315 \text{ cm} \end{aligned}$$

Penurunan Konsolidasi

Penurunan total konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Penurunan Lapisan 1 ($Z_1 = 3 \text{ m}$)

$$\begin{aligned} \Delta p_1 &= \frac{Qg}{(Bg + Z_1) \cdot (Lg + Z_1)} \\ &= \frac{13196,426}{(7 + 2) \cdot (7 + 2)} \\ &= 162,9188 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{0(1)} &= \gamma_1 \cdot h_{1a} + \gamma_1' \cdot h_{1b} + \gamma_2' \cdot h_2 + \gamma_3' \cdot (h_3 - (4/2)) \\ &= 16,3 \cdot 1,5 + 9,19 \cdot 4,5 + 8,68 \cdot 4 + 9,19 \cdot 24 \\ &= 321,065 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta s_1 &= \left[\frac{Cc(i) \cdot H(i)}{1 + e_o(i)} \right] \cdot \log \left[\frac{P_o(i) + \Delta p(i)}{P_o(i)} \right] \\ &= \left[\frac{0,1385 \cdot 4}{1 + 0,81897} \right] \cdot \log \left[\frac{321,065 + 162,9188}{321,065} \right] \\ &= 0,0543 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan Lapisan 2 ($Z_1 = 6 \text{ m}$)

$$\begin{aligned} \Delta p_2 &= \frac{Qg}{(Bg + Z_2) \cdot (Lg + Z_2)} \\ &= \frac{13196,426}{(7 + 7) \cdot (7 + 7)} \\ &= 67,329 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{0(2)} &= \gamma_1 \cdot h_{1a} + \gamma_1' \cdot h_{1b} + \gamma_2' \cdot h_2 + \gamma_3' \cdot h_3 + \gamma_4' \cdot (h_4 / 2) \\ &= 16,3 \cdot 1,5 + 9,19 \cdot 6 + 8,68 \cdot 4 + 9,19 \cdot 26 + \\ &12,19 \cdot 3 \\ &= 376,015 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta s_2 &= \left[\frac{Cc(i) \cdot H(i)}{1 + e_o(i)} \right] \cdot \log \left[\frac{P_o(i) + \Delta p(i)}{P_o(i)} \right] \\ &= \left[\frac{0,09988 \cdot 6}{1 + 0,57167} \right] \cdot \log \left[\frac{376,015 + 67,329}{376,015} \right] \\ &= 0,02728 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan Lapisan 3 ($Z_1 = 16 \text{ m}$)

$$\Delta p_3 = \frac{Qg}{(Bg + Z_3) \cdot (Lg + Z_3)}$$

$$= \frac{13196,426}{(7 + 14) \cdot (7 + 14)}$$

$$= 29,924 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{0(3)} = \gamma_1 \cdot h_{1a} + \gamma_1' \cdot h_{1b} + \gamma_2' \cdot h_2 + \gamma_3' \cdot h_3 + \gamma_4' \cdot h_4 + \gamma_5' \cdot (h_5/2)$$

$$= 16,3 \cdot 1,5 + 9,19 \cdot 6 + 8,68 \cdot 4 + 9,19 \cdot 26 + 12,19 \cdot 6 + 11,64 \cdot 8$$

$$= 459,155 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta s_3 = \left[\frac{Cc(i) \cdot H(i)}{1 + e_o(i)} \right] \cdot \log \left[\frac{P_o(i) + \Delta p(i)}{P_o(i)} \right]$$

$$= \left[\frac{0,1037 \cdot 8}{1 + 0,59622} \right] \cdot \log \left[\frac{459,155 + 29,924}{459,155} \right]$$

$$= 0,01425 \text{ m}$$

Penurunan Total Konsolidasi

$$\text{Stot} = \Delta s_1 + \Delta s_2 + \Delta s_3$$

$$= 0,0543 + 0,02728 + 0,01425$$

$$= 0,0958 \text{ m}$$

$$= 9,58 \text{ cm}$$

Kontrol Penurunan Ijin

Selastik = 6,7315 cm

Skonsolidasi = 9,58 cm

Stot = Sg elastik + Sg konsolidasi

$$= 6,7315 \text{ cm} + 9,58 \text{ cm}$$

$$= 16,311 \text{ cm}$$

Sijin = 15 + b/600

$$= 15 + 800/600$$

$$= 16,333 \text{ cm}$$

Stot < Sijin

$$16,311 \text{ cm} < 16,333 \text{ cm}$$

-OK-

G. Metode Pelaksanaan

Pemancangan pada perencanaan ini dilakukan dengan menggunakan sistem hydraulic jack in dengan menggunakan alat *Hydraulic Static Pile Driver* Secara garis besar pemancangan dengan *Hydraulic Static Pile Driver* untuk operasionalnya menggunakan sistem jepit kemudian menekan tiang tersebut. Berikut adalah metode pelaksanaan pemancangan tiang menggunakan sistem hydraulic jack in :

1. Mengikat tiang pancang pertama.
2. Mengangkat tiang pancang pertama.
3. Memutar atau memindahkan tiang pancang pertama (bergerak secara horizontal) ke titik pancang.
4. Memasukkan tiang pancang pertama ke pile clamping box (jepitan tiang kotak) yang ada pada alat.

5. Setting ketegak-lurusan (verticality) tiang pancang terhadap titik pancang.
6. Melakukan penetrasi tiang pancang ke dalam tanah dengan cara menekan tiang pancang tersebut.
7. Penekanan tiang pancang hingga sisa tiang +/- 40 cm dari permukaan tanah untuk kemudian dilakukan penyambungan.
8. Pengambilan tiang pancang kedua (sambungan).
9. Pengangkatan, memindahkan ke titik pancang, memasukkan ke pile clamping box, kemudian setting verticality terhadap titik pancang dan tiang pancang yang sudah terpancang.
10. Pemancangan tiang dilakukan hingga tercapai daya dukung desain tiang atau hingga kapasitas alat jack-in pile sudah tercapai (biasanya hingga alat terangkat).
11. Pengelasan sambungan.
12. Menekan tiang pancang sambungan.
13. Bila diperlukan dilakukan pengambilan dan pemasangan dolly untuk membantu menekan tiang pancang Uo
14. Pemancangan tiang dilakukan hingga tercapai daya dukung desain tiang atau hingga kapasitas alat jack-in pile sudah tercapai (biasanya hingga alat terangkat).
15. Bergerak ke titik pancang berikutnya

H. Rencana Anggaran Biaya

Berikut merupakan Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya pada pekerjaan fondasi tiang pancang :

No.	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah	Total
I Pekerjaan Persiapan						
1	Pembelian & Pemasangan Lokasi	64	m ²	Rp. 23.631,24	Rp. 1.517.599,56	
2	Pengangkutan & Pemasangan Bangkai	32	m	Rp. 77.733,10	Rp. 2.487.459,20	Rp. 4.103.855,11
II Pekerjaan Tanah						
1	Galian Tanah Pilecap	192	m ³	Rp. 29.375,53	Rp. 5.641.102,35	
2	Lapis Fondasi Agregat Keras	64	m ²	Rp. 327.322,80	Rp. 20.948.691,00	Rp. 30.009.243,21
2	Timbunan Tanah Pilecap Kontrol	64	m ²	Rp. 41.562,71	Rp. 2.660.137,22	
III Pekerjaan Tiang Pancang						
1	Pemediaan Tiang Pancang	432	m	Rp. 1.116.228,10	Rp. 482.210.539,57	Rp. 484.748.013,00
2	Pekerjaan Pemasangan	405	m	Rp. 451.091,03	Rp. 184.681.867,47	
IV Pekerjaan Pile Cap						
1	Pembesian	9705,4	kg	Rp. 16.965,58	Rp. 166.184.576,20	
2	Bekisting	428	m ²	Rp. 266.782,29	Rp. 113.760.812,48	Rp. 452.395.664,26
3	Pencoretan Pile Cap	128	m ³	Rp. 1.859.676,51	Rp. 238.038.993,04	Rp. 881.256.576,19
BIAYA						Rp. 107.839.223,34
PPN 11%						Rp. 11.862.316,57
TOTAL BIAYA						Rp. 1.889.194.799,57

4. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil perhitungan pembebanan struktur atas, diperoleh nilai beban aksial terbesar yang diterima oleh pilar adalah sebesar 13196,426 kN, akibat kombinasi beban Extrem I.
2. Pada diameter pancang 1 m dan kedalaman pancang 45 m didapatkan nilai daya dukung ijin tiang tunggal sebesar 2773,78 kN. Untuk kapasitas dukung kelompok tiang dengan jumlah tiang sebanyak 9 buah diperoleh nilai kapasitas dukung sebesar 69986 kN.
3. Pada perencanaan ini didapatkan 3 alternatif desain fondasi berdasarkan diameter yang berbeda, yaitu 0.8 m, 1 m dan 1.2 m. Didapatkan dimensi yang paling efektif untuk digunakan sebagai alternatif desain yaitu berdiameter 1 m dipasang sebanyak 9 buah tiang dengan

kedalaman tiang 45 m dari dasar pilecap yang terpasang serta dengan tebal pilecap 2 m.

4. Perhitungan penurunan elastik tiang tunggal diperoleh hasil penurunan sebesar 2,5443 penurunan elastik kelompok tiang sebesar 6,7315 cm, serta penurunan konsolidasi sebesar 9,68 cm. Sehingga diperoleh penurunan total sebesar 16,311 cm.
5. Metode pelaksanaan yang digunakan dalam perencanaan fondasi tiang pancang ini adalah menggunakan metode *hydraulic jack in* dengan menggunakan alat Hydraulic Static Pile Driver. Dimana
6. Rencana Anggaran Biaya yang diperlukan untuk pekerjaan fondasi tiang pancang pada satu pilar yang ada di Flyover Aloha Sidoarjo dengan diameter tiang 1 m dan panjang tiang 45 m beserta PPN sebesar 11% adalah Rp. 1,089,194,799.57.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI 1725, "Pembebanan untuk jembatan," *Bsn*, pp. 1–63, 2016, [Online]. Available: https://www.academia.edu/41600953/sni_1725_2016_Pembebanan_untuk_jembatan
- [2] SNI 2833, "Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa SNI 2833," pp. 1–70, 2016.
- [3] P. Anbazhagan, M. Neaz Sheikh, K. Bajaj, P. J. Mariya Dayana, H. Madhura, and G. R. Reddy, "Empirical models for the prediction of ground motion duration for intraplate earthquakes," *J. Seismol.*, vol. 21, no. 4, pp. 1001–1021, 2017, doi: 10.1007/s10950-017-9648-2.
- [4] H. Wahyudi, "Teknik Reklamasi," *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 1997.
- [5] B. M. Das, *Principles of Foundation Engineering SI Edition*, 9th ed. 2019.
- [6] SNI 8460, "Persyaratan Perancangan Geoteknik," *Standar Nas. Indones.*, vol. 8460, pp. 1–323, 2017.