

ANALISIS FONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA SPT PADA JEMBATAN DI TOL CIPULARANG KM 71

Imron Sahroni^{1,*}, Moch. Sholeh², Devi Zettyara³

Mahasiswa Program Diploma IV- Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Program Diploma IV- Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Program Diploma IV- Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang³
 Koresponden*, Email: imronsahroni025@gmail.com¹, moch.sholeh@polinema.ac.id², devizett@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Proyek Pembangunan Jembatan Penghubung di Jalan Tol Cipularang KM 71 terletak di Kawasan Kota Bukit Indah Kabupaten Purwakarta Provinsi Jawa Barat. Pada kondisi eksisting proyek ini menggunakan jenis fondasi tiang bor. Hasil pengamatan pelaksanaan di lapangan terdapat beberapa kendala antara lain terjadinya kelongsoran pada lubang tiang dan adanya faktor air hujan yang dapat mempengaruhi mutu beton. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan analisis tentang penggantian jenis fondasi eksisting tiang bor menjadi tiang pancang, dengan tujuan untuk mendapatkan desain rencana fondasi yang lebih efisien dan ekonomis. Analisis pembebanan dilakukan dengan alat bantu software StaadPro V8i. Metode perhitungan daya dukung tiang menggunakan rumus dari Mayerhoff yang mengacu pada data SPT. Hasil analisis pembebanan struktur di bagian abutment sebesar 22324,5 kN dan dibagian pilar sebesar 48448,23 kN. Diameter fondasi yang paling efektif digunakan berdasarkan daya dukung, penurunan dan biayanya pada abutment adalah Ø 1,2 m dan pada pilar adalah Ø 1 m. Hasil daya dukung fondasi pada abutment dengan Ø1,2 m sebesar 24809,236 kN dengan penurunan fondasi 6,57 cm dan biaya sejumlah Rp 966.735.315,75; sedangkan daya dukung pada pilar dengan Ø1 m sebesar 50617,160 kN dengan penurunan fondasi 9,01 cm dan biaya sejumlah Rp 1.716.648.467,54. Metode pelaksanaan yang dipilih adalah pemanfaatan alat berat Hydraulic Jack In pada saat proses pemancangan dengan pertimbangan faktor keamanan dan kebisingan.

Kata kunci : Jembatan; Abutment; Pilar; fondasi tiang pancang; SPT

ABSTRACT

The Bridge Construction Project at Cipularang Toll Road KM 71 was located in the Bukit Indah City area, Purwakarta Regency, West Java Province. In the existing condition, this project used bored pile foundation types. Construction site observations revealed several challenges, including landslides in the pile holes and the impact of rainwater on the concrete quality. Based on these issues, an analysis was conducted to replace the existing bored pile foundation with a driven pile foundation, aiming to achieve a more efficient and economical foundation design. The load analysis was done using StaadPro V8i software. The calculation method for pile bearing capacity used Mayerhoff's formula, referring to SPT data. The load analysis results show a load of 22324.5 kN on the abutment and 48448.23 kN on the pillars. The most effective foundation diameter based on bearing capacity, settlement, and cost for the abutment is Ø 1.2 m, and for the pillars is Ø 1 m. The bearing capacity of the foundation at the abutment with Ø 1.2 m is 24809.236 kN with a settlement of 6.57 cm and a cost of Rp 966,735,315.75; meanwhile the bearing capacity at the pillar with Ø 1 m is 50617.160 kN with a settlement of 9.01 cm and a cost of Rp 1,716,648,467.54. The chosen implementation method was using Hydraulic Jack In heavy equipment during the piling process, considering safety and noise factors.

Keywords : Bridge; Abutment; Pillar; pile foundation; SPT

1. PENDAHULUAN

Proyek Pembangunan Jembatan Penghubung di Jalan Tol Cipularang KM 71 terletak di Kawasan Kota Bukit Indah Kabupaten Purwakarta Provinsi Jawa Barat. Pada kondisi eksisting proyek ini menggunakan jenis fondasi tiang bor. Ukuran diameter fondasi eksisting sebesar 1,2 m dengan

kedalaman fondasi pada pier 1 dan 2 sebesar 26 m sedangkan pada abutment 1 dan 2 sedalam 16 m. Hasil pengamatan pada pelaksanaan di lapangan terdapat beberapa kendala antara lain terjadinya kelongsoran pada lubang tiang dan adanya faktor air hujan yang dapat mempengaruhi mutu betonnya. Penggunaan casing pada lubang tiang bor sedalam 9 m sudah

dilakukan untuk meminimalisir terjadinya kelongsoran, namun malah mengakibatkan biaya pelaksanaan semakin mahal. Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis melakukan analisis perhitungan daya dukung fondasi dan penurunan tiang dengan mengganti jenis fondasi eksisting tiang bor ke fondasi tiang pancang yang diharapkan lebih efisien dari segi pelaksanaan dan juga lebih ekonomis dari segi biaya.

2. METODE

Pengumpulan Data

Mencari dan mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam perencanaan fondasi tiang pancang seperti.

- 1) Data Tanah (Data SPT)
- 2) Data struktur atas
- 3) Data HSPK Kota Bekasi 2022

Pengolahan Data

Analisis pengolahan data pada penelitian ini terdiri dari beberapa hal sebagai berikut:

- 1) Perhitungan pembebanan struktur atas jembatan
- 2) Merencanakan dimensi fondasi tiang pancang.
- 3) Menghitung daya dukung tiang 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) Menghitung penurunan yang terjadi pada abutment dan pilar yaitu penurunan segera dan penurunan konsolidasi (apabila pada tanah lempung).
- 8) Kemudian dilakukan kontrol terhadap penurunan kelompok tiang apakah melebihi batas yang diijinkan.

A. Analisis Pembebanan Struktur Atas

Analisis pembebanan yaitu proses pengelolaan data yang bertujuan untuk mengetahui besarnya gaya yang bekerja atau gaya yang harus ditahan oleh fondasi. Dasar peraturan perhitungan pembebanan penelitian ini mengacu pada SNI (1725 – 2016) [1] tentang Peraturan Pembebanan pada Jembatan” dan SNI (2833 – 2016) [2] tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa. Pada penelitian ini analisis beban struktur atas menggunakan software *StaadPro.V8i*

B. Analisis Stabilitas Abutment

Analisis stabilitas abutment bertujuan untuk mengetahui kemampuan fondasi dalam menahan guling dan geser, serta stabilitas terhadap daya dukung tanah di bawahnya.

C. Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang

Analisis fondasi tiang pancang terdiri dari :

1) Analisis Daya Dukung Ujung Tiang

Analisis kapasitas daya dukung fondasi tiang digunakan untuk mengetahui kapasitas tiang dalam menahan struktur di atasnya

Daya dukung ujung tiang (Q_p) untuk fondasi tiang pancang dan tiang bor dapat dihitung dengan rumus persamaan menurut [3] (Mayerhof, 1976)

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

dengan :

Q_p = kapasitas daya dukung ujung tiang fondasi (kN)

q_p = tahanan ujung persatuan luas tiang (kN/m²)

A_p = luas penampang ujung tiang (m²)

c_u = kohesi tanah lempung di ujung tiang (kN/m²)

2) Analisis Daya Dukung Selimut Tiang

Daya dukung selimut tiang dalam dihitung menggunakan persamaan metode α yang di kemukakan oleh Tomlinson untuk tanah lempung dengan harga perlawanan geser kulit (f) : sebagai berikut :

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L$$

dengan :

p = keliling penampang tiang (m)

ΔL = Panjang tiang (m)

f = satuan perlawanan geser pada seita kedalaman z (kN/m²)

Dengan harga satuan perlawanan geser kulit (f) dengan persamaan :

$$f = \alpha \cdot c_u$$

dimana :

α = faktor adhesi/letakan secara empiris

c_u = kuat geser drained (kN/m²)

Nilai α pada fondasi tiang pancang diperoleh dengan rumus *American Petroleum Institute* atau API 2 (2007) (Das, 2017: 482)[3].

$$f_{av} a = 0,5 (Cu \cdot \overline{\sigma_o'})^{0.5}$$

$$f_{av} b = 0,5 (Cu)^{0.75} \cdot (\overline{\sigma_o'})^{0.25}$$

Keterangan

$\overline{\sigma_o'}$ = Tegangan efektif vertikal rata-rata

Hasil kedua rumus di atas dipilih yang paling besar untuk digunakan.

3) Daya dukung ultimit dan daya dukung ijin pada abutment

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit tiang dengan factor aman tertentu. Pada (Kemertian PUPR, 2019) [4] faktor aman bernilai (2,5 – 3) sehingga :

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

Keterangan :

Qult = kapasitas daya dukung tiang maksimum (kN)

Qall = kapasitas daya dukung tiang ijin (kN)

SF = faktor keamanan (*safety factor*)

4) Penentuan Jumlah Tiang

Penentuan jumlah tiang bertujuan untuk mengetahui jumlah kelompok tiang yang diperlukan untuk menahan beban struktur diatasnya. Penentuan jumlah kelompok tiang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut.

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

keterangan :

n = Jumlah pondasi (buah)

Qv = Beban vertical bangunan (kN)

Qall = Daya dukung ijin tiang (kN)

5) Kontrol Jarak Tiang

Idealnya, jarak antar kutub kelompok kutub setidaknya harus $s = 2,5D$, dan biasanya digunakan jarak antara $s = 3D$ dan $3,5D$. Hal ini bisa diasumsikan dengan mengambil nilai tengah yaitu

$$S = 3D$$

keterangan :

S = Jarak antar tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

D. Analisis Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

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

dengan :

$Q_g(u)$ = Kapasitas ultimit kelompok, nilainya harus tidak melampaui $n \cdot Q_u$ (kN)

B_g = Lebar kelompok tiang (m)

L_g = Panjang kelompok tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

ΔL = Kedalaman tiang (m)

n_1 = Banyak tiang arah x

n_2 = Banyak tiang arah y

E. Distribusi Beban pada Tiang

1) Sentris

Beban vertikal sentris, menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{Q_v}{n}$$

Keterangan:

Q_p : beban tiang tunggal (kN)

Q_v : beban total vertikal (kN)

n : jumlah tiang dalam kelompok tiang

2) Eksentris

Persamaan beban eksentris sebagai berikut

$$Q_i = \frac{Q_v}{n} + \frac{M_y \cdot x_i}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot y_i}{\sum y^2}$$

Keterangan :

Q_i : reaksi tiang atau beban aksial tiang ke-i (kN)

Q_v : jumlah gaya – gaya vertikal (kN)

n : jumlah tiang dalam kelompok

x_i, y_i : jarak searah sumbu – x atau sumbu – y dari pusat berat kelompok tiang ke tiang nomor – 1

$\sum x^2, \sum y^2$: jumlah kuadrat dari jarak tiap – tiap sumbu ke pusat kelompok tiang (m^2)

e_x, e_y : eksentrisitas searah sumbu – x atau sumbu – y (m)

M_x, M_y : $e_x \cdot V$ $e_y \cdot V$ / jumlah momen terhadap sumbu – x atau sumbu – y (kN.m)

F. Penurunan Fondasi

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

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

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

dengan:

Δs_g : penurunan total konsolidasi pada lapisan kelompok tiang

Δs_i : penurunan konsolidasi pada lapisan ke – i

Menurut SNI (8460-2017) [5] Persyaratan Perancangan Geoteknik, batas Penurunan izin $< 15 \text{ cm} + b/600$ (b dalam satuan cm) untuk bangunan tinggi dan bisa dibuktikan struktur atas masih aman.

G. Metode Pelaksanaan

Pemancangan tiang pancang bisa dilakukan dengan beberapa cara disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi eksisting lingkungan sekitar lokasi pemancangan atau sekitar lokasi proyek pembangunan. Area pemancangan diupayakan memiliki ruang bebas untuk memudahkan pemancangan tiang pancang. Ada dua cara atau sistem pemancangan tiang pancang:

- 1) Drop hammer system
- 2) Metode *Hydraulic Jacking Pile*

H. Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya diperlukan untuk memperhitungkan nilai suatu proyek seperti bahan dan upah, serta biaya- biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek. Pada studi kali ini rencana anggaran biaya yang digunakan sebagai acuan adalah analisa harga santuan pekerjaan (AHSP) 2023. Maksud disusunnya rencana anggaran biaya adalah untuk

mengetahui nilai atau besaran biaya yang diperlukan untuk pekerjaan fondasi tiang pancang dan tiang bor. Hasil perhitungan nantinya digunakan untuk membandingkan fondasi mana yang lebih ekonomis dari segi harga atau biaya yang harus dikeluarkan.

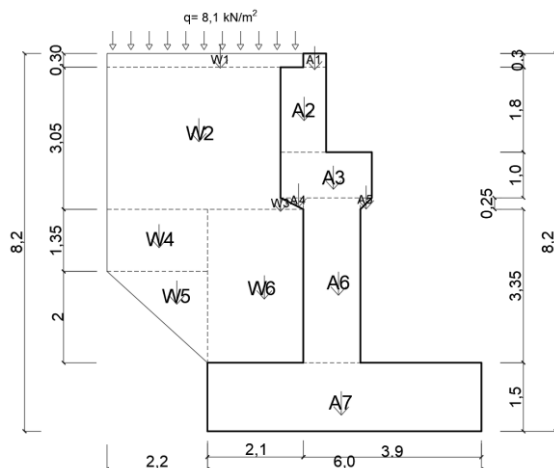
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Pembebanan Struktur Atas

Analisis pembebanan struktur atas pada penelitian ini berdasarkan SNI 1726:2016 dengan menggunakan software StaadPro.V8i. Hasil analisa pada pembebanan pada struktur atas abutment sebesar 22324,5 kN yang diakibatkan oleh beban kombinasi kuat I, dengan momen arah X sebesar 772,336 kNm yang disebabkan oleh beban kombinasi ekstrem 1 dan momen arah Y sebesar 1385,34 kNm yang disebabkan oleh beban kombinasi ekstrem 1. Hasil analisa pembebanan yang bekerja pada pilar menunjukan nilai beban struktur atas sebesar 48448,23 kN dikarenakan beban kombinasi kuat 1 sedangkan untuk momen maksimal arah X yang bekerja pada Pilar Sebesar 3896,31 kNm diakibatkan oleh beban kombinasi kuat 1 untuk momen arah Y besar gaya maksimal sebesar 7579,46 kNm diakibatkan oleh beban kombinasi ekstrem 1

B. Analisis Stabilitas Abutment

Berikut detail gambar detail perhitungan stabilitas abutment.



Gambar 1. Detail Bagian-Bagian Abutment

Berdasarkan pada buku (Braja M.Das 9th 2017) dirumuskan sebagai berikut:

Kontrol Terhadap Stabilitas Guling

$$F_{gl} = \frac{\sum Vx}{\sum Hy} \geq FK(2,0)$$

$$F_{gl} = \frac{40375,0}{10246,4} = 3,94(OK)$$

Kontrol Terhadap Stabilitas Geser

$$F_{gs} = \frac{tg \cdot \theta \cdot \sum V + C \cdot A}{\sum H} \geq FK(1,5)$$

$$F_{gs} = \frac{tg(30) \cdot 12674,8 + 106,4 \cdot 6}{3475,8} = 2,17(OK)$$

Kontrol Terhadap Stabilitas Daya Dukung Tanah

$$e = \left[\frac{B}{2} - \frac{\sum Vx - \sum Hy}{\sum V} \right] \leq \frac{B}{6}$$

$$e = \left[3 - \frac{40375,0 - 10246,4}{12674,8} \right] \leq 1 \text{ m} = 0,62$$

Nilai $e \leq B/6$, maka rumus yang digunakan.

$$\sigma_{max} = \frac{\sum V}{L \cdot B} \times \left(1 + \frac{6 \cdot e}{B} \right) \leq Q_{ijin} (176,4 \text{ kN})$$

$$\sigma_{max} = \frac{12674,8}{13,2 \cdot 6} \times \left(1 + \frac{6 \cdot (0,62)}{6} \right) = 259,73 \text{ kN}$$

(Tidak OK)

Dikarenakan daya dukung stabilitas di bawah abutment tidak OK maka perlu dilakukan perencanaan fondasi tiang.

C. Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang

1) Analisis Daya Dukung Ujung Tiang

$$D = 1,2 \text{ m}$$

$$L = 16 \text{ m}$$

$$C_u = 276,64 \text{ kN/m}^2$$

$$A_p = 0,25 \pi D^2 = 0,25 \times 3,14 \times 1,2^2 = 1,131 \text{ m}^2$$

$$Q_p = 9 \cdot c_u \cdot A_p = 9 \times 276,64 \times 1,131$$

$$= 2815,85 \text{ kN}$$

Tabel 1 Hasil analisa perhitungan daya dukung ujung pada abutment

D (m)	L (m)	Ap (m ²)	Cu (kN/m ²)	Qp (kN)
0,8	16	0.503	276.64	1251.49
1	16	0.785	276.64	1955.45
1,2	16	1.131	276.64	2815.85

Tabel 2 Hasil analisa perhitungan daya dukung ujung pada abutment

D (m)	L (m)	Ap (m ²)	Cu (kN/m ²)	Qp
0,8	26	0.503	279.16	1262.89
1	26	0.785	279.16	1973.27
1,2	26	1.131	279.16	2841.50

2) Analisis daya dukung selimut tiang dengan contoh pada kedalaman 0-8,8 m pada diameter 1,2 m abutment

$$\sigma'_{o1} = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times L1 = (19,69 - 9,8) \times 6,8$$

$$= 67,23 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{u1} = 110,60 \text{ kN/m}^2$$

$$\overline{\sigma'_o1} = \frac{0 + 67,23}{2} = 33,61 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{av1a} = 0,5 (C_u \overline{\sigma'_o1})^{0,5} = 0,5 (110,60 \times 33,61)^{0,5}$$

$$= 30,49 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 f_{av1b} &= 0,5 (\text{Cu})^{0,75} (\overline{\sigma_o'})^{0,25} \\
 &= 0,5 \times (110,60)^{0,75} (33,61)^{0,25} \\
 &= 41,06 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

f_{av2} yang digunakan yang terbesar yaitu 112,00 kN/m²

$$p = \pi \cdot D = \pi \times 1,2 = 3,77 \text{ m}$$

$$Q_s = \sum f_{av} \cdot p \cdot \Delta L = 3,77 \times (41,06 \times 6,8) + 3,77 \times (112,0 \times 9,2) = 4937,03 \text{ kN}$$

3) Daya dukung ultimit dan daya dukung izin pada abutment

Perhitungan daya dukung fondasi pada abutment sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s = 2815,85 + 4937,03 = 7752,89 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{F_s} = \frac{7752,89}{2,5} = 3101,15 \text{ kN}$$

4) Menentukan Jumlah Tiang

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Tiang} &= \frac{Q_v}{Q_{all}} = \frac{22324,5}{3101,15} = 7,20 \\
 &= 8 \text{ Buah}
 \end{aligned}$$

5) Kontrol Jarak Antar Tiang

$$3D > 2,5 D$$

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

$$3,6 > 3 \text{ (Maka Aman)}$$

D. Analisis Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

1) Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang dengan Keruntuhan Tiang Tunggal

$$\begin{aligned}
 Q_{g(u)} &= n \cdot n_2 \cdot (Q_p + Q_s) = 4 \cdot 2 \cdot (1955,45 + 4114,19) \\
 &= 62023,09 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2) Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang dengan Keruntuhan Blok

$$\begin{aligned}
 Q_{g(u)} &= L_g \cdot B_g \cdot c_{u(p)} \cdot N_c^* + \sum 2 (L_g + B_g) \cdot c_u \Delta L \\
 &= (12 \cdot 4,8) \cdot 2489,76 + 109746,20 \\
 &= 253156,38 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$Q_{all(g)} = \frac{Q_g}{SF} = \frac{62023,09}{2,5} = 24809,24 \text{ kN}$$

$$24809,24 \text{ kN} > 22324,5 \text{ kN}$$

$$Q_{all(g)} > Q_v \text{ (OK)}$$

E. Distribusi Beban Pada Tiang

1) Sentris

Perhitungan asumsi sentris

$$Q_p = \frac{Q_v}{n} = \frac{22324,5}{8} = 2790,56 \text{ kN}$$

2) Eksentris

Pada fondasi 1 dengan asumsi beban eksentris akibat momen

$$\begin{aligned}
 Q_p &= \frac{22324,5}{8} + \frac{1385,3 \cdot (-1,8)}{129,6} + \frac{1020,4 \cdot (-5,4)}{25,92} \\
 &= 2558,74
 \end{aligned}$$

F. Penurunan Fondasi

1) Penurunan Elastik Kelompok Tiang

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

Penurunan Sepanjang Tiang (S₁)

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{(Q_p + \xi Q_s) \cdot L}{A_p \cdot E_p} = \frac{(2815,85 + 0,5 \cdot 4937,03) \cdot 16}{1,13 \cdot 33234018,7} \\
 &= 0,00225 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Penurunan Akibat Beban Pada Ujung Tiang (S₂)

$$S_2 = \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D \cdot q_p} = \frac{2815,85 \cdot 0,02}{1,2 \cdot 2491,02} = 0,0147 \text{ m}$$

Penurunan Tiang Akibat Beban Pada Sepanjang Tiang (S₃)

$$S_3 = \frac{Q_{ws} \cdot C_s}{L \cdot q_p} = \frac{4937,03 \cdot 0,03}{16 \cdot 2491,02} = 0,00375$$

Penurunan Total

$$S_e = S_1 + S_2 + S_3$$

$$= 0,0023 + 0,0147 + 0,00375 = 0,0207 \text{ m} = 2,07 \text{ cm}$$

Penurunan Elastik Kelompok Tiang

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} \cdot S = \sqrt{\frac{4,8}{1,2}} \cdot 0,0207 = 0,0415 \text{ m} = 4,15 \text{ cm}$$

2) Penurunan Konsolidasi Kelompok Tiang

$$\begin{aligned}
 P_{0(1)} &= \gamma_1 \cdot h_1 + \gamma'_2 \cdot h_2 + \gamma'_3 \cdot \left[h_{3a} \left(\frac{h_{3b}}{2} \right) \right] \\
 &= 19,9 \cdot 1,5 + (19,69 - 9,81) \cdot 6,8 + (22 \\
 &\quad - 9,81) \cdot \left[3,8 + \left(\frac{6,2}{2} \right) \right] \\
 &= 176,795
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta p_1 &= \frac{Q_g}{(B_g + Z_1) \cdot (L_g + Z_1)} = \frac{22324,5}{(4,8 + 3,1) \cdot (12 + 3,1)} \\
 &= 187,14 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai OCR overconsolidasi berdasarkan persamaan Mayne dan Kemper (1988) pada Kumpulan

$$\begin{aligned}
 OCR &= 0,193 \frac{N}{P_o} = 0,193 \frac{49}{176,795} = 0,05349 \text{ MN/m}^2 \\
 &\quad \times 1000 = 53,49 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

karena nilai OCR > 1 maka termasuk dalam overconsolidasi.

$$Cr = (0,1 - 0,2) Cc$$

$$= 0,15 \cdot 0,094$$

$$= 0,014$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_{s1} &= \left[\frac{C_{r(1)} \cdot H_1}{1 + e_{o(1)}} \right] \log \left[\frac{P_{o(1)} + \Delta p_{(1)}}{P_{o(1)}} \right] \\
 &= \left[\frac{0,014 \cdot 6,2}{1 + 0,52} \right] \log \left[\frac{176,795 + 187,14}{176,795} \right] \\
 &= 0,018 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3) Kontrol Penurunan Ijin

$$S_{elastik} = 4,15 \text{ cm}$$

$$S_{konsolidasi} = 2,42 \text{ cm}$$

$$S_{tot} = S_{elastik} + S_{konsolidasi}$$

$$= 4,15 \text{ cm} + 2,42 \text{ cm} = 6,57 \text{ cm}$$

$$S_{ijin} = 15 + b/600 = 15 + 600/600 = 16 \text{ cm}$$

$$S_{tot} < S_{ijin}$$

$$6,57 \text{ cm} < 16 \text{ cm (OK)}$$

Berdasarkan hasil analisa perhitungan pada setiap dimensi fondasi berikut hasil rekapitulasi penurunan yang terjadi pada abutment dan pilar.

Tabel 3. Rekapitulasi Penurunan Pada Abutment

Keterangan	Ø0,8 m	Ø1 m	Ø1,2 m
Penurunan Elastik Kelompok Tiang	11.05	6.24	4.15
Penurunan Konsolidasi Kelompok Tiang	2.41	2.44	2.38
Penurunan Total	13.47	8.68	6.53
Penurunan Izin	15.67	15.83	16.00

Tabel 4. Rekapitulasi Penurunan Pada Abutment

Keterangan	Ø0,8 m	Ø1 m	Ø1,2 m
Penurunan Elastik Kelompok Tiang	6,28	7,02	5,93
Penurunan Konsolidasi Kelompok Tiang	3,54	3,32	3,04
Penurunan Total	9,82	10,33	8,96
Penurunan Izin	16,07	16,33	16,00

G. Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan fondasi tiang pancang pada Abutment dan Pilar Jembatan Cipularang KM 71 menggunakan metode (Hydraulic Jack In) sebagai alat pemancangnya. Berikut merupakan metode pelaksanaan fondasi tiang pancang dengan menggunakan (Hydraulic Jack In):

Proses Pemancangan:

- 1) Tiang Pancang diangkat oleh crane pada alat pancang HSPD dan dimasukkan kedalam alat penjepit.
- 2) Tiang pancang diposisikan tepat diatas titik pancang dalam keadaan tegak lurus dengan bantuan alat unting-unting.
- 3) Setelah semuanya terpenuhi selanjutnya dilakukan penjepitan tiang dengan tekanan maksimum ± 20 MPa dibaca pada Manometer C.
- 4) Tekanan dilakukan sebesar 200 % dari beban rencana
- 5) Dilakukan penekanan tiang dengan menggunakan Cylinder Jack sampai mencapai beban yang sudah ditentukan.
- 6) Selama proses pemancangan catat tekanan yang digunakan untuk menanamkan tiang pancang.
- 7) Lakukan penyambungan dengan cara mengelas seluruh celah pada sambungan tiang pancang

- 8) Apabila dala proses pemancangan tiang tidak dapat ditekan lagi, sehingga terdapat sisa tiang diatas permukaan tanah maka sisa tiang tersebut dipotong dengandengan alat pemotong untuk memberikan jalan kerja bagi alat pancang HSPD ke titik berikutnya.
- 9) Kondisi final set sudah tercapai apabila pembacaan pada manometer sudah menunjukkan 250% beban rencana.

H. Perhitungan Biaya Pelaksanaan Fondasi Tiang Pancang

Perhitungan Biaya Pelaksanaan Fondasi Tiang Pancang ini berdasarkan Pedoman penyusunan perkiraan biaya menggunakan permen PUPR No.8 Tahun 2023. Selanjutnya, harga satuan yang digunakan untuk dasar perhitungan menggunakan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Bekasi Tahun 2022

Tabel 5. Rekapitulasi biaya pekerjaan fondasi tiang pancang.

No	Keterangan	Ø(m)		Total Biaya
1	Abutment	0.8	Rp	971,715,006.60
2	Abutment	1	Rp	937,903,129.12
3	Abutment	1.2	Rp	966,735,315.75
4	Pilar	0.8	Rp	1,628,088,539.76
5	Pilar	1	Rp	1,716,648,467.54
6	Pilar	1.2	Rp	1,771,786,590.45

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa poin kesimpulan yang dapat diberikan:

1. Hasil analisis pemodelan dengan StaadPro.V8i menunjukkan bahwa nilai beban vertikal dan gaya aksial terbesar pada abutment sebesar 22324,5 kN, dan pada pilar sebesar 48448,23 kN terjadi pada kombinasi beban Kuat I.
2. Dimensi fondasi tiang pancang yang digunakan pada Jembatan di Tol Cipularang KM 71 berdiameter 0,8 m, 1 m, dan 1,2 m
3. Analisis daya dukung fondasi pada abutment dengan diameter 0,8 m, 1 m, 1,2 m berturut-turut sebesar 25439.937 kN, 24278.592 kN, dan 24809.236 kN. Sedangkan pada pilar nilai daya dukung fondasi dengan diameter 0,8 m, 1 m, dan 1,2 m berturut-turut sebesar 48722.825 kN, 50617.160 kN, dan 52511.495 kN.
4. Penurunan fondasi dibagian abutment pada setiap diameter berturut-turut sebesar 13,51 cm ; 8,72 cm ; dan 6,57 cm, sedangkan pada pilar penurunan yang terjadi

- pada setiap diameter berturut-turut sebesar 9,87 cm ; 10,38 cm ; dan 9,01 cm.
5. Metode pelaksanaan yang dipilih pada penelitian ini adalah dengan menggunakan alat berat Hydraulic Jack In dengan pertimbangan keamanan dan kebisingan. Lokasi penelitian yang berdekatan dengan jalan tol mengharuskan penggunaan metode yang aman dan minim gangguan.
 6. Rencana anggaran biaya yang diperlukan untuk pekerjaan fondasi tiang pancang dibagian abutment pada setiap diameter berturut-turut sebesar Rp 971.715.006,60 ; Rp 937.903.129,12; dan Rp 966.735.315,75. Sedangkan pada pilar rencana anggaran biaya yang diperlukan untuk setiap diameter berturut-turut sebesar Rp 1.628.088.539,76; Rp 1.716.648.467,54; dan Rp 1.771.786.590,45.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Bina Marga, "SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan," *Badan Standarisasi Nasional.*, pp. 1–67, 2016.
- [2] SNI 2833:2016 "Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa SNI 2833." *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, pp. 1–70, 2016.
- [3] B. M. DAS, *Principles Of Foundation Engineering*. Boston: Cengage Learning, 2017.
- [4] R. S. Warman, "Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik Dan Pondasi." pp. 1–94, 2019.
- [5] SNI 8460:2017, "Persyaratan Perancangan Geoteknik," *Badan Standarisasi Nasional. Indonesia.*, vol. 8460, pp. 1–323, 2017.