

PERENCANAAN ULANG FONDASI BORED PILE STUDI KASUS JEMBATAN JURUG B

Alvin Mubarak Nurga Sinatriya

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jawa Tengah

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pbelan Surakarta

Email: d100190187@student.ums.ac.id

Abstrak

Jembatan Jurug B merupakan Jembatan Callender Hamilton yang sudah berusia hampir 50 tahun, secara teknis nilai konstruksi sudah sangat berkurang sehingga diperlukan pergantian. Jembatan Jurug B ini memiliki panjang 155,1 dan lebar 11 meter. Dalam perencanaan ini divariasi fondasi tiang bor berdiameter 1,3; 1,4 dan 1,5 meter dengan metode *Meyerhof*. Lapisan tanah yang terdapat dalam Proyek Jembatan Jurug B adalah tanah berlapis dengan kedalaman ± 0 sampai 2 m tanah batu pasir, kedalaman 2 m sampai 4,5 m tanah batu pasir bercampur lempung, kedalaman 4,5 m sampai 12,5 m tanah pasir bercampur krikil. Hasil menunjukkan bahwa Jembatan Jurug B memiliki beban aksial *Abutment A1* sebesar 17440,631 kN. Nilai kapasitas dukung tunggal dan kelompok tiang bor untuk diameter 1,3 m sebesar 1753,935 kN dan 21047,214 kN, diameter 1,4 m sebesar 2029,206 kN dan 20292,060 kN, diameter 1,5 m sebesar 2324,528 kN dan 20920,751 kN. Berdasarkan nilai Q_g yang paling efektif, maka dipilih *bored pile* berdiameter 1,4 m. Jumlah tiang untuk mendukung beban aksial tiang bor sebanyak 10 tiang. Kebutuhan tulangan memanjang dan geser pada tiang bor adalah 32D25 dan D13-60. Kebutuhan penulangan pada *pile cap* yaitu tulangan pokok (bawah) didapatkan D32-90 arah X dan D32-140 arah Y, dan tulangan bagi (atas) didapatkan D25-150 arah X dan Y, dengan tulangan geser D13-300. *Sheet pile* sebagai struktur penahan tanah menggunakan KSP I_A(400 85 8) yang memiliki momen lentur 17,6 kNm.

Kata Kunci: Perencanaan, Fondasi, Bored Pile, Jembatan

Abstract

Jurug B Bridge is a Callender Hamilton Bridge that is almost 50 years old, technically the construction value has been greatly reduced so a replacement is needed. It has 155.1 meters long and 11 meters wide. In this plan, the bored pile foundation is varied with a 1.3; 1.4 and 1.5 meter using the Meyerhof method. The material found in the Jurug Bridge Project B is layered soil, those are sandstone soil, sandstone soil mixed with clay, and sand soil mixed with gravel. The results show that Jurug B Bridge has an axial load of Abutment A1 of 17440,631 kN. The

single and group bearing capacity values of bored piles for 1.3 m diameter are 1753,935 kN and 21047,214 kN, 1.4 m diameter are 2029,206 kN and 20292,060 kN, 1.5 m diameter are 2324,528 kN and 20920,751 kN. Based on the most effective Q_g value, a bored pile with a diameter of 1.4 m was chosen. The number of poles to support the axial load is 10 poles. The longitudinal and shear reinforcement is 32D25 and D13-60. The reinforcement requirements for the pile cap are the main reinforcement (bottom) obtained at D32-90 in the X direction and D32-140 in the Y direction, and the divided reinforcement (top) obtained at D25-150 in the X and Y direction, with D13-300 shear reinforcement. Sheet pile as a soil retaining structure uses KSP IA (400 85 8) which has a bending moment of 17.6 kNm.

Keywords: Planning, Foundations, Bored Pile, Bridges

1. PENDAHULUAN

Fondasi merupakan elemen terdasar dari sebuah struktur yang berfungsi untuk menyalurkan beban bangunan ke dalam tanah atau batuan di bawahnya (Hardiyatmo, 1996). Ada dua jenis utama dalam fondasi, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal adalah fondasi yang langsung menopang beban bangunan, seperti fondasi telapak, fondasi memanjang, dan fondasi rakit. Sementara itu, fondasi dalam adalah fondasi yang mentransfer beban bangunan ke dalam tanah keras atau batuan yang terletak lebih dalam dari permukaan, seperti fondasi sumuran dan fondasi tiang. Dengan beban konstruksi yang besar pada Jembatan Jurug B, maka fondasi yang paling tepat untuk diterapkan pada jembatan tersebut adalah fondasi dalam.

Merencanakan struktur bawah untuk sebuah bangunan adalah suatu kewajiban demi menjaga stabilitas keseluruhan konstruksi yang dihasilkan. Salah perhitungan mengenai struktur bawah dapat berujung pada keruntuhan bangunan yang sebelumnya kokoh pada bagian struktur atasnya. Hal ini dapat memiliki konsekuensi buruk untuk penghuninya (Harianti dan Pamungkas, 2013). Maka dari itu, penting untuk merencanakan fondasi secara cermat sehingga mencegah penurunan dikarenakan beban struktur di atasnya. Solusi untuk menghadapi permasalahan ini adalah menggunakan fondasi tiang bor sehingga mampu mentransfer beban-beban tersebut ke dalam tanah yang memiliki kekuatan yang memadai.

Di samping itu, dalam menentukan letak lapisan tanah keras, perlu melakukan penyelidikan seperti *Standart Penetration Test* (SPT) yang menjadi dasar perhitungan untuk menetapkan kekuatan untuk dukungan fondasi. Dalam proyek Jembatan Jurug B, lapisan tanah terdiri dari beberapa jenis, yaitu pada kedalaman sekitar ± 0 hingga 2 meter terdapat tanah batu pasir, pada kedalaman 2 hingga 4,5 meter terdapat tanah batu pasir yang bercampur dengan lempung, dan kedalaman 4,5 hingga 12,5 meter terdapat tanah pasir yang bercampur dengan krikil. Muka air tanah pada lokasi tersebut berada pada kedalaman sekitar 5,5 meter. Fondasi *existing* yang digunakan di lapangan adalah fondasi *bored pile* dengan kedalaman 15 meter. Untuk menghindari masuknya air tanah ke dalam fondasi, maka pada penelitian ini akan direncanakan kedalaman *bored pile* lebih tinggi dari muka air tanah yaitu 5 meter dengan variasi diameter tiang bor 1,3; 1,4 dan 1,5 meter. Selain itu akan direncanakan *sheet pile* yang berfungsi menahan tanah urug pada tepi *abutment*.

2. METODE

Untuk mencapai tujuan dalam penelitian ini, data yang diperoleh dari proyek Jembatan Jurug B digunakan. Berikut ini adalah urutan tahap-tahap penelitian yang dilakukan:

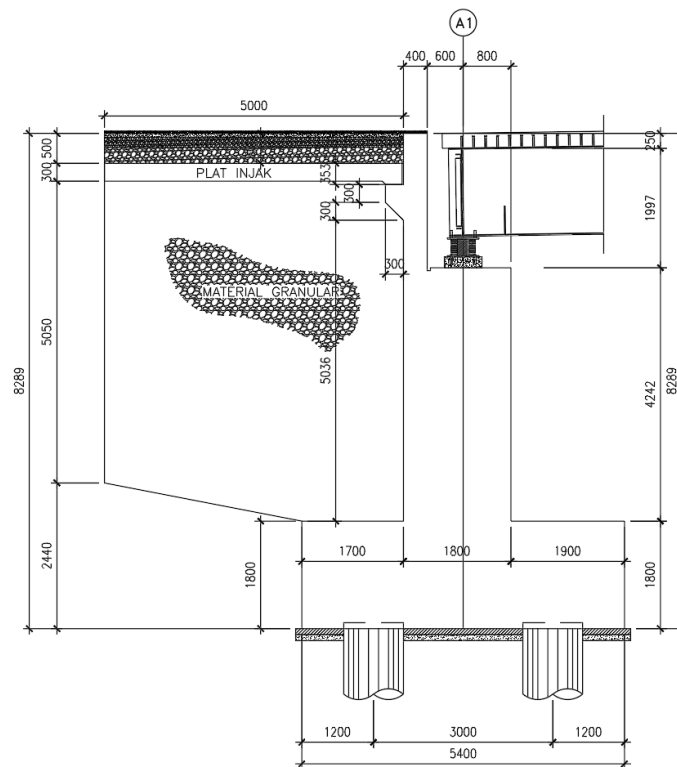
Tahap pertama adalah melakukan penelitian literatur untuk menemukan informasi yang relevan dengan topik penelitian. Kedua, gambar teknik dan data penyelidikan tanah melalui SPT dikumpulkan. Tahap ketiga melibatkan pembuatan permodelan struktur atas dan perhitungan beban sesuai SNI 1725-2016. Pada tahap keempat, Metode *Mayerhof* digunakan untuk menghitung kapasitas dukung fondasi tiang bor tunggal dan kelompok berdasarkan data hasil uji lapangan SPT, serta program Excel 2019 digunakan untuk menghitung jumlah tiang yang diperlukan. Pada tahap kelima, perhitungan jumlah tulangan yang diperlukan untuk tiang bor dan *pile cap* dilakukan, kemudian dilakukan perhitungan perencanaan *sheet pile* menggunakan Excel 2019.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan fondasi *Bored Pile* untuk Jembatan Jurug B mencakup berbagai perhitungan yang penting untuk menjamin kestabilan dan keamanan struktur. Hal ini meliputi analisis pembebanan dari struktur atas untuk menentukan beban-beban yang akan ditopang oleh fondasi. Selanjutnya, perhitungan kapasitas dukung fondasi tiang bor tunggal dan kelompok tigan bor dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik tanah dari hasil penyelidikan tanah serta metode perhitungan yang sesuai. Desain penulangan untuk *pile cap* dan tiang bor juga harus dipertimbangkan untuk memastikan kekuatan dan kestabilan fondasi. Terakhir, perencanaan *sheet pile* diperlukan untuk mengatasi tekanan air atau tanah yang mungkin mempengaruhi fondasi. Semua langkah ini penting untuk dilakukan secara cermat agar fondasi dapat berfungsi dengan efektif dalam menopang struktur atas jembatan.

3.1 Perhitungan Pembebanan dari Struktur Atas

Pertama, permodelan struktur atas jembatan & *abutment* dilakukan dengan menggunakan AutoCAD 2022, di mana seluruh beban-beban seperti beban sendiri, mati tambahan, tekanan tanah, lalu lintas, angin, dan gempa dimasukkan dengan detail. Setelah itu, analisis struktur dilakukan menggunakan Excel 2019 dengan menerapkan berbagai kombinasi beban yang sesuai. Dari hasil analisis, ditemukan bahwa beban aksial terbesar pada kombinasi kedua memiliki nilai sebesar 17,440.631 kN. Hal ini menekankan pentingnya memperhitungkan berbagai beban yang beragam dalam perencanaan struktur jembatan dan *abutment* untuk memastikan kekuatan dan kestabilan yang optimal.



Gambar 1. Potongan melintang Abutment A1

3.2 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Bor Tunggal

Dengan menggunakan contoh fondasi berdiameter 1,3 m,

a. Daya dukung tiang tunggal

1). Rerata ujung tiang

$$\begin{aligned} \text{Rerata 1} &= \frac{0+19,163}{2} \times 2 \\ &= 19,163 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rerata 2} &= \frac{19,163+30,113}{2} \times 2 \\ &= 49,275 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rerata 3} &= \frac{30,113+28,744}{2} \times 1 \\ &= 29,428 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N1 &= \frac{19,163+49,275+29,428}{5} \\ &= 19,573 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rerata 1} &= \frac{28,744+27,375}{2} \times 1 \\ &= 28,059 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rerata 2} &= \frac{27,375+29,2}{2} \times 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 56,575 \\
\text{Rerata 3} &= \frac{29,2+28,288}{2} \times 2 \\
&= 57,487 \\
\text{Rerata 4} &= \frac{28,288+28,014}{2} \times 0,2 \\
&= 5,630 \\
N_2 &= \frac{28,059+56,575+57,487+5,630}{5,2} \\
&= 28,413 \\
N_{\text{cor}} &= \frac{N_1+N_2}{2} \\
&= \frac{19,573+28,413}{2} \\
&= 23,993
\end{aligned}$$

2). Rerata selimut tiang

Batu pasir

$$\begin{aligned}
\text{Rerata 1} &= \frac{0+19,163}{2} \times 2 \\
&= 19,163
\end{aligned}$$

Batu pasir bercampur lempung

$$\begin{aligned}
\text{Rerata 2} &= \frac{19,163+30,113+29,428}{3} \times 2,5 \\
&= 65,585
\end{aligned}$$

Batu pasir bercampur kerikil

$$\begin{aligned}
\text{Rerata 3} &= \frac{29,428+28,744}{2} \times 0,5 \\
&= 14,542 \\
\bar{N}_{\text{cor}} &= \frac{\text{Rerata 1}+\text{Rerata 2}+\text{Rerata 3}}{L} \\
&= \frac{19,163+65,585+14,542}{5} \\
&= 19,858
\end{aligned}$$

b. Daya dukung ultimit (Q_u)

$$\begin{aligned}
A_b &= \pi \cdot r^2 \\
&= \pi \cdot 0,65^2 \\
&= 1,327 \text{ m}^2 \\
A_s &= 2\pi \cdot r \cdot h \\
&= 2\pi \cdot 0,65 \cdot 5
\end{aligned}$$

$$= 20,420 \text{ m}^2$$

$$Df = Lb/d$$

$$= 5/1,3$$

$$= 3,846$$

$$Wp = (1/4.\pi).D^2 \times Df \times bj$$

$$= (1/4.\pi).1,3^2 .3,846 .2,4$$

$$= 12,25 \text{ Ton}$$

$$= 122,517 \text{ kN}$$

$$Qu = 133N_{cor} A_b + 0,67 \bar{N}_{cor} A_s - Wp$$

$$= 133. 23,993. 1,327 + 0,67. 19,858 .20,420 - 122,517$$

$$= 4384,836 \text{ kN}$$

c. Daya dukung ijin tiang (Qa)

$$Q_a = \frac{Q_u}{sf}$$

$$= \frac{4384,836}{2,5}$$

$$= 1753,935 \text{ kN}$$

d. Jumlah tiang bor

$$= \frac{20544,315}{1753,935}$$

$$= 11,713 \quad , \text{ dibulatkan menjadi 12 tiang}$$

e. Daya dukung kelompok tiang

$$S = 2,5D \text{ s/d } 3D$$

$$= 2,5.1,3 \text{ s/d } 3.1,3$$

$$= 3,25 \text{ s/d } 3,9$$

$$= 3,3$$

$$E_g = 1$$

$$n = 12 \text{ tiang}$$

$$Q_a = 1921,295 \text{ kN}$$

$$Q_g = E_g . n . Q_a$$

$$= 1 . 12 . 1921,295$$

$$= 21047,214 \text{ kN} > 20544,315 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Rekapitulasi

	Diameter 1,3 m	Diameter 1,4 m	Diameter 1,5 m
Daya Dukung Ultimit (Qu)	4384,836 kN	5073,014 kN	5811,319 kN
Daya dukung ijin tiang (Qa)	1753,935 kN	2029,206 kN	2324,528 kN
Jumlah Tiang Bor (n)	12 tiang	10 tiang	9 tiang
Daya Dukung Kelompok Tiang (Qg)	21047,214 kN	20292,060 kN	20920,751 kN

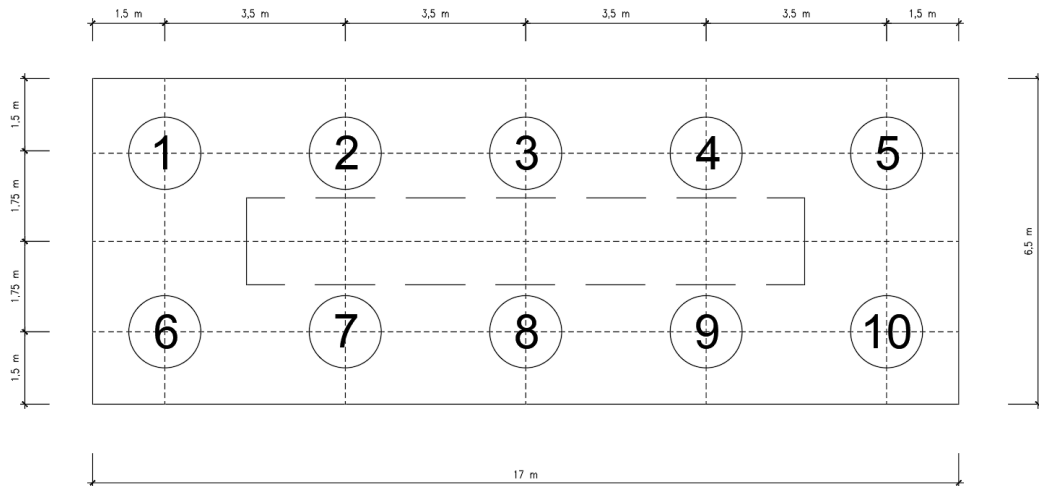
Dipilih variasi tiang bor dengan daya dukung kelompok tiang (Qg) efektif yaitu Diameter 1,4 m

3.3 Perhitungan Beban Maksimum Pada Kelompok Tiang

Diameter tiang bor 1,4 m

$$\begin{aligned}
 P_u &= \text{Beban aksial} + \text{beban } pile \text{ cap} \\
 &= 15194,43 + 17.6,5.1,8.24 \\
 &= 15194,43 + 4774,6 \\
 &= 19968,027 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= 2,5D \leq S \leq 3D \\
 &= 2,5.1,4 \leq S \leq 3.1,4 \\
 &= 3,5 \leq S \leq 4,2 \\
 &= 3,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Gambar 2. Susunan Tiang Bor Diameter 1,4 m

$$n \text{ tiang} = 10$$

$$m, n_x = 5$$

$$n, n_y = 2$$

absis tiang terhadap pusat *pile cap*:

$$\sum x^2 = 4 \cdot 7^2 + 4 \cdot 3,5^2 = 245 \text{ m}^2$$

$$\sum y^2 = 10 \cdot 1,75^2 = 30,625 \text{ m}^2$$

$$M_x = 8977,652 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$

$$P = \frac{pu}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{max}}{n_y \sum X^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{n_x \sum Y^2}$$

Diambil contoh perhitungan pada tiang 1 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{19968,027}{10} + \frac{0 \cdot -7}{2 \cdot 245} + \frac{8977,652 \cdot 3,5}{5 \cdot 30,625} \\ &= 1894,201 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 5.18. Beban Vertikal dan Momen (diameter 1,4 m)

Tiang	X (m)	y (m)	P (kN)
1	-7	1,75	1894,201
2	-3,5	1,75	1894,201
3	0	1,75	2099,404
4	3,5	1,75	2099,404
5	7	1,75	2099,404

Tiang	X (m)	y (m)	P (kN)
6	-7	-1,75	1894,201
7	-3,5	-1,75	1894,201
8	0	-1,75	2099,404
9	3,5	-1,75	2099,404
10	7	-1,75	2099,404

Kontrol Keamanan

$$Q_a = 2041,349 \text{ kN} \quad P < Q_a$$

$$\text{Tiang 1} = 1894,201 \text{ kN} < 2041,349 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Tiang 2} = 1894,201 \text{ kN} < 2041,349 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Tiang 3} = 2099,404 \text{ kN} < 2041,349 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Tiang 4} = 2099,404 \text{ kN} < 2041,349 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Tiang 5} = 2099,404 \text{ kN} < 2041,349 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Tiang 6} = 1894,201 \text{ kN} < 2041,349 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Tiang 7} = 1894,201 \text{ kN} < 2041,349 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Tiang 8} = 2099,404 \text{ kN} < 2041,349 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Tiang 9} = 2099,404 \text{ kN} < 2041,349 \text{ kN (OK)}$$

$$\text{Tiang 10} = 2099,404 \text{ kN} < 2041,349 \text{ kN (OK)}$$

3.4 Penulangan Bored Pile

a) Tulangan Longitudinal

$$P_{maks} = P_{ijin} = 2099,404 \text{ kN}$$

Faktor beban ultimit, $\Phi = 1,25$

$$P_u = \Phi \cdot P_{ijin} = 1,25 \cdot 2099,404 \cdot 10^3 = 2624255,570 \text{ N}$$

Kuat tekan beton, $f'_c = 30 \text{ Mpa}$

Tegangan leleh baja, $f_y = 420 \text{ Mpa}$

Diameter tiang bor, $D = 1400 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Luas tiang bor, } A_g &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1400^2 \\ &= 1539380,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Analisis perhitungan tiang bor kolom bulat dengan cara analisis kolom persegi. Menggunakan ketentuan:

$$D = 1400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_g \text{ persegi} &= A_g \text{ bulat} \\ &= 1539380,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_g \text{ persegi} = b \cdot D$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } b &= \frac{A_g}{D} \\ &= \frac{1539380,4}{1400} \\ &= 1099,557 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\phi \cdot P_{ijin}}{f'_{c.b.D}} &= \frac{2624255,570}{30 \cdot 1099,557 \cdot 1400} \\ &= 0,057 \end{aligned}$$

Karena nilai tersebut terletak dibawah garis $\rho = 1\%$, maka digunakan rasio tulangan, $\rho = 1\%$.

Luas tulangan yang diperoleh, $A_s \text{ perlu}$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \cdot A_g \\ &= 1\% \cdot 1539380,4 \\ &= 15393,804 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diameter besi Tulangan yang digunakan, D25

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 490,874 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Banyak tulangan yang diperlukan,

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s} \\ &= \frac{15393,804}{490,874} \\ &= 31,26 \approx 32 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luas tulangan yang dipakai, $A_s \text{ pakai}$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 32 \\ &= 15707,963 \text{ mm}^2 > 15393,804 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 32 D25

b) Tulangan Geser

$$P_{maks} = P_{ijin} = 1796,754 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tekan beton, } f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja, } f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\text{Faktor beban ultimit, } K = 1,25$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser, } \Phi = 0,6$$

$$\text{Panjang bored pile, } L = 5000 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter bored pile, } D = 1400 \text{ mm}$$

$$\text{Penutup beton, } P_b = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan lentur, } d_{\text{lentur}} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan lentur, } d_{\text{geser}} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Luas tiang bor, } A_g$$

$$\begin{aligned} A_g &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1400^2 \\ &= 1539380,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luas tulangan geser, } A_{1D}$$

$$\begin{aligned} A_{1D} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_{\text{geser}}^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \\ &= 132,732 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luas lingkaran dalam, } A_c$$

$$\begin{aligned} A_c &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (D - 2 \cdot P_b)^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (1400 - 2 \cdot 60)^2 \\ &= 1286796,351 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Gaya geser ultimit, } V_u$$

$$\begin{aligned} V_u &= \sum P_u \text{ terbesar} \\ &= P_{u3} + P_{u7} + P_{u11} = P_{u4} + P_{u8} + P_{u12} \\ &= 4198,809 \text{ kN} \\ &= 4198808,912 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Kuat geser beton, } V_c$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_c \\ &= 1/6 \cdot \sqrt{30} \cdot 1286796,351 \end{aligned}$$

$$= 9397431,844 \text{ N}$$

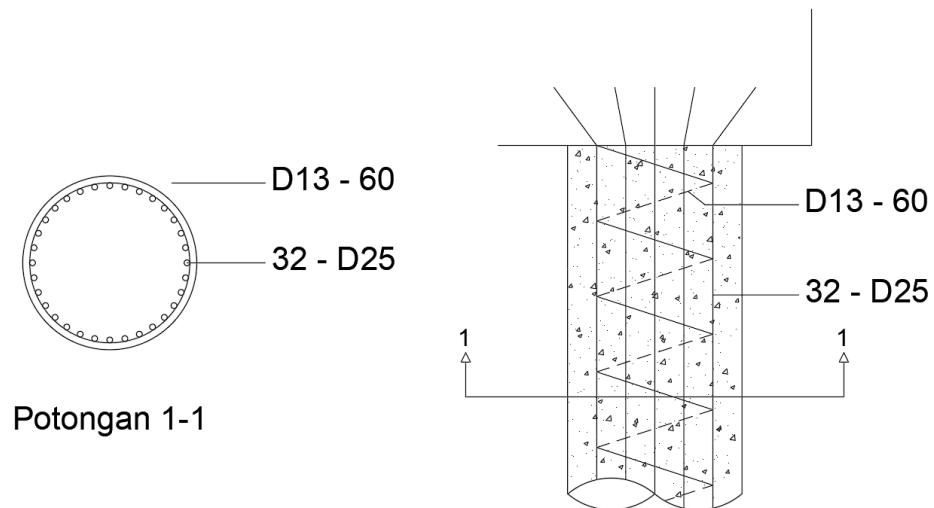
$$\Phi.V_c = 5638459,106 \text{ N} \geq V_u = 4198808,912 \text{ N}$$

Sehingga digunakan tulangan spiral minimal.

$$\begin{aligned} d_c &= D - (2 \cdot P_b) \\ &= 1400 - (2 \cdot 60) \\ &= 1280 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{\pi \cdot d_{ges}^2 \cdot f_y}{0,45 \cdot d_c \cdot f'c \cdot ((A_g/A_c) - 1)} \\ &= \frac{\pi \cdot 13^2 \cdot 420}{0,45 \cdot 1280 \cdot 30 \cdot ((1539380,4/1286796,351) - 1)} \\ &= 65,742 \text{ mm} \approx 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan geser, D13-60



Gambar 3. Penulangan *Bored Pile* Diameter 1,4 m

3.5 Penulangan *Pile cap*

a) Perhitungan tulangan (arah X)

Diketahui:

$$M_u = \sum P_u \cdot l_y$$

$$\sum P_u = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 10086,615 \text{ kN}$$

$$M_u = 10086,615 (3,5) = 35303,153 \text{ kNm}$$

$$f'c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d_s = 75 + 32/2 = 91 \text{ mm}$$

$$d = 1800 - 91 = 1709 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot \frac{f'c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \cdot \frac{30 - 28}{7} = 0,836$$

Menghitung faktor pikul (K), b = 6500 mm

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{35303,153 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 6500 \cdot 1709^2} = 2,066 \text{ Mpa}$$

$$K_{maks} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1) \cdot f'c}{(600 + f_y)^2} = \frac{382,5 \cdot 0,9 (600 + 420 - 225 \cdot 0,9) \cdot 30}{(600 + 420)^2} = 7,670 \text{ Mpa}$$

$$K < K_{maks} \quad (\text{Ok})$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'c}}\right) \cdot d = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,066}{0,85 \cdot 30}}\right) \cdot 1709 = 144,593 \text{ mm}$$

Perhitungan tulangan pokok (bawah)

$$A_{s,u} = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b / f_y = 0,85 \cdot 30 \cdot 144,593 \cdot 6500 / 420 = 57062,619 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,u} = 1,4 \cdot b \cdot d / f_y = 1,4 \cdot 6500 \cdot 1709 / 420 = 37028,333 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,u} = 0,25 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d / f_y = 0,25 \cdot \sqrt{30} \cdot 6500 \cdot 1709 / 420 = 36216,524 \text{ mm}^2$$

Terbesar yang terpilih, yaitu $A_{s,u} = 57062,619 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan pokok (s) dipakai D32:

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2 \cdot 6500}{57062,619} = 91,611 \text{ mm}$$

$$s = 2 \cdot h = 2 \cdot 1800 = 3600 \text{ mm}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

Terkecil yang terpilih, yaitu $s = 90 \text{ mm} < 91,611 \text{ mm}$

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2 \cdot 6500}{90} = 58084,557 \text{ mm}^2 > A_{s,u} \text{ (Ok)}$$

Jadi dipakai tulangan pokok D32-90

Perhitungan tulangan bagi (atas)

$$A_{s,b} = 20\% \cdot A_{s,u} = 20\% \cdot 57062,619 = 11412,523 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,b} = (0,002 - (f_y - 350) / 350000) \cdot b \cdot h = (0,002 - (420 - 350) / 350000) \cdot 6500 \cdot 1800 = 21060 \text{ mm}^2$$

Terbesar yang terpilih, yaitu $A_{s,b} = 21060 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan bagi (s) dipakai D25 :

$$s = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,b}} = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot 25^2 \cdot 9600}{31104} = 151,504 \text{ mm}$$

$$s = 2 \cdot h = 2 \cdot 1800 = 3600 \text{ mm}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

Terkecil yang terpilih, yaitu $s = 150 \text{ mm} < 151,504 \text{ mm}$

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot 25^2 \cdot 6500}{150} = 21271,201 \text{ mm}^2 > A_{s,b} \text{ (Ok)}$$

Jadi dipakai tulangan pokok D25-150

Perhitungan tulangan geser

Gaya geser ultimit pile cap, $V_u = 2187,174 \text{ kN} = 2187174 \text{ N}$

$$\begin{aligned} V_c &= 1/6 \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ &= 1/6 \sqrt{30} \cdot 6500 \cdot 1709 \\ &= 10140626,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \phi V_c &= 0,5 \cdot 0,6 \cdot 10140626,7 \\ &= 3042188,02 \text{ N} \geq 2187174 \text{ N} \quad (\text{Aman}) \end{aligned}$$

Secara teoritis tidak memerlukan tulangan geser, tetapi untuk memudahkan pemasangan tulangan digunakan tulangan geser minimum, D13-300

b) Perhitungan tulangan (arah Y)

Diketahui:

$$M_u = \sum P_u \cdot l_y$$

$$\sum P_u = P_{u5} + P_{u10} = 4198,809 \text{ kN}$$

$$M_u = 4198,809 (7) = 29391,662 \text{ kNm}$$

$$f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$d_s = 75 + 32/2 = 91 \text{ mm}$$

$$d = 1800 - 91 = 1709 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot \frac{f'_c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \cdot \frac{30 - 28}{7} = 0,836$$

Menghitung faktor pikul (K) dengan $b = 17000 \text{ mm}$

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{29391,662 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 17000 \cdot 1709^2} = 0,657 \text{ Mpa}$$

$$K_{maks} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1) \cdot f'_c}{(600 + f_y)^2} = \frac{382,5 \cdot 0,9 (600 + 420 - 225 \cdot 0,9) \cdot 30}{(600 + 420)^2}$$

$$= 7,670 \text{ Mpa}$$

$$K < K_{maks} \quad (\text{Ok})$$

$$a = (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot k}{0,85 \cdot f'c}}) \cdot d = (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,657}{0,85 \cdot 30}}) \cdot 1709 = 44,664 \text{ mm}$$

Perhitungan tulangan pokok (bawah)

$$\begin{aligned} A_{s,u} &= 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b / f_y = 0,85 \cdot 30 \cdot 44,664 \cdot 17000 / 420 \\ &= 46100,201 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s,u} &= 1,4 \cdot b \cdot d / f_y = 1,4 \cdot 17000 \cdot 1709 / 420 \\ &= 96843,333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s,u} &= 0,25 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d / f_y = 0,25 \cdot \sqrt{30} \cdot 17000 \cdot 1709 / 420 \\ &= 94720,139 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Terbesar yang terpilih, yaitu $A_{s,u} = 96843,333 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan pokok (s) dipakai D32:

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2 \cdot 17000}{96843,333} = 141,179 \text{ mm}$$

$$s = 2 \cdot h = 2 \cdot 1800 = 3600 \text{ mm}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

Terkecil yang terpilih, yaitu $s = 140 \text{ mm} < 141,179 \text{ mm}$

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2 \cdot 17000}{140} = 97658,651 \text{ mm}^2 > A_{s,u} \text{ (Ok)}$$

Jadi dipakai tulangan pokok D32-140

Perhitungan tulangan bagi (atas)

$$A_{s,b} = 20\% \cdot A_{s,u} = 20\% \cdot 96843,333 = 19368,667 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{s,b} &= (0,002 - (f_y - 350) / 350000) \cdot b \cdot h \\ &= (0,002 - (420 - 350) / 350000) \cdot 17000 \cdot 1800 = 55080 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Terbesar yang terpilih, yaitu $A_{s,b} = 55080 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan bagi (s) dipakai D25:

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,b}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 17000}{55080} = 151,504 \text{ mm}$$

$$s = 2 \cdot h = 2 \cdot 1800 = 3600 \text{ mm}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

Terkecil yang terpilih, yaitu $s = 150 \text{ mm} < 151,504 \text{ mm}$

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 17000}{150} = 55632,370 \text{ mm}^2 > A_{s,b} \text{ (Ok)}$$

Tulangan pokok yang digunakan yaitu D25-150

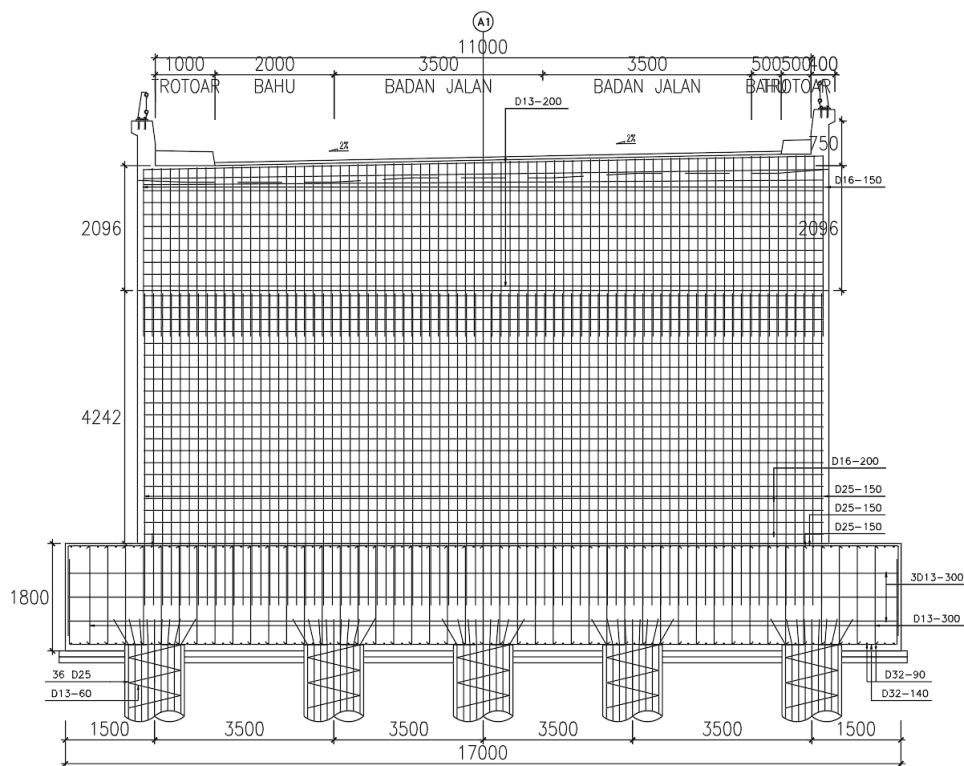
Perhitungan tulangan geser

Gaya geser ultimit pile cap, $V_u = 2187,174 \text{ kN} = 2187174 \text{ N}$

$$\begin{aligned} V_c &= 1/6 \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ &= 1/6 \sqrt{30} \cdot 17000 \cdot 1709 \\ &= 26521639,11 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \phi V_c &= 0,5 \cdot 0,6 \cdot 26521639,11 \\ &= 7956491,732 \text{ N} \geq 2187174 \text{ N} \quad (\text{Aman}) \end{aligned}$$

Tulangan geser minimum yang digunakan adalah D13-300



Gambar 4. Potongan Memanjang Penulangan *Abutment* pada *bored pile* diameter 1,4 m

3.6 Perhitungan *Sheet Pile*

$$\text{Berat satuan efektif tanah urug, } \gamma H = 17,27 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Sudut gesek pada tanah timbunan, } \phi = 35^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien tekanan aktif tanah, } K_A &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{35}{2} \right) \\ &= 0,271 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Koefisien tekanan pasif tanah, } K_P &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{35}{2} \right) \\ &= 3,69\end{aligned}$$

$$\text{Berat satuan efektif tanah, } \gamma = 19,83 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Berat tambahan dari Excavator, } p_0 = 40,27 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Panjang sheet pile, } L = 12 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi tanah urug, } H = 4 \text{ m}$$

1. Menentukan y_0

$$\begin{aligned}y_0 &= (\gamma H + p_0) \cdot K_A / (\gamma (K_P - K_A)) \\ &= (17,27 + 40,27) \cdot 3,69 / (19,83 (3,69 - 0,271)) \\ &= 0,229 \text{ m}\end{aligned}$$

2. Menentukan h

$$\begin{aligned}K &= K_P - K_A \\ &= 3,69 - 0,271 \\ &= 3,419\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D_0 &= L - (H + y_0) \\ &= 12 - (4 + 0,229) \\ &= 7,771 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D &= D_0 + y_0 \\ &= 7,771 + 0,229 \\ &= 8 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_a &= (\gamma H + p_0) \cdot K_A \\ &= (17,27 + 40,27) \cdot 0,271 \\ &= 15,192 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{P}_p &= \gamma K D_0 \\ &= 19,83 \cdot 3,419 \cdot 7,771 \\ &= 526,826 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{P}'_p &= \bar{P}_p + \gamma K D_0 \\ &= 526,826 + 19,83 \cdot 3,419 \cdot 7,771 \\ &= 1053,653 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h &= \bar{P}_p (D - y_0) - 2 P_a / (\bar{P}_p + \bar{P}'_p) \\ &= 526,826 (8 - 0,229) - 2 \cdot 15,192 / (526,826 + 1053,653)\end{aligned}$$

$$= 2,570 \text{ m}$$

3. Momen Lentur Maksimum

$$\begin{aligned} M_{\max} &= P_a (\bar{y} + \bar{y}_0)^3 - 1/6 \bar{y}_0^3 \gamma K \\ &= 15,192. (0,438+0,229)^3 - 1/6 (0,229)^3 \cdot 19,83 \cdot 3,419 \\ &= 7,034 \text{ kNm} \end{aligned}$$

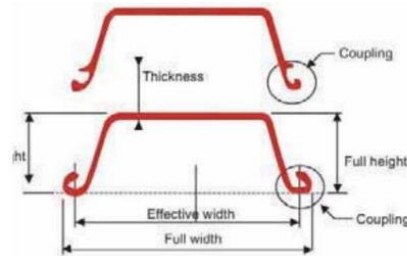


Figure 12 – KSP Steel Sheet Piles: Dimensions

Section	Dimensions			Section Area		Unit weight		Moment of Inertia		Modulus of section	
	width w mm	height h mm	thickness t mm	A cm ²	A/m cm ² /m	M kg/m	M/m ² kg/m ²	I cm ⁴	I/m cm ⁴ /m	Z _x cm ³	Z _x /m cm ³ /m
→ KSP I _A	400	85	8.0	45.21	113.0	35.5	88.8	598	4,500	88	529
KSP II	400	100	10.5	61.18	153.0	48.0	120	1,240	8,740	152	874
KSP II _A	400	120	9.2	55.01	137.5	43.2	108	1,450	10,600	162	880
KSP III	400	130	13.0	76.42	191.0	60.0	150	2,320	17,400	232	1,340
KSP III _A	400	150	13.1	74.40	186.0	58.4	146	2,840	22,800	253	1,520
KSP IV	400	170	15.5	96.99	242.5	76.1	190	4,670	38,600	362	2,270
KSP IV _A	400	185	16.1	94.21	235.5	74.0	185	5,300	41,600	400	2,250
KSP V _L	500	200	24.3	133.8	267.6	105	210	7,960	63,000	520	3,150
KSP VI _L	500	225	27.6	153.0	306.0	120	240	11,400	86,000	680	3,820
KSP II _w	600	130	10.3	78.70	131.2	61.8	103	2,110	13,000	203	1,000

Gambar 5. KSP Sheet Piles : Dimensions

Dicoba menggunakan profil KSP I_A(400 85 8):

Lentur nominal (M_n)= Z_x. E_s

$$= 88 \text{ cm}^3 \times 200000 \text{ Mpa}$$

$$= 17,6 \text{ kN.m}$$

$$\text{Cek} = 17,6 > 7,034 \text{ kN.m (Ok)}$$

4. PENUTUP

Berdasarkan penjelasan dan perhitungan di atas, dapat diambil kesimpulan yaitu:

- 1). Perhitungan beban struktur atas dilakukan dengan memasukkan berbagai beban seperti beban sendiri, mati tambahan, tekanan tanah, lalu lintas, angin, dan gempa sesuai SNI 1725-2016. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai beban aksial terbesar adalah sebesar 17440,631 kN.

- 2). Kapasitas dukung tiang tunggal dan tiang kelompok berdiameter 1,3 m diperoleh nilai sebesar 1753,935 kN dan 21047,214 kN, diameter 1,4 m diperoleh sebesar 2029,206 kN dan 20292,060 kN, diameter 1,5 m didapatkan sebesar 2324,528 kN dan 20920,751 kN.
- 3). Alternatif kedua yang diterapkan adalah menggunakan fondasi tiang bor berdiameter 1,4 meter menggunakan metode Meyerhof, dengan total 10 tiang dalam satu kelompok. Dengan menggunakan nilai S_f sebesar 2,5 dalam satu kelompok tiang, diperoleh perhitungan yang menunjukkan bahwa kapasitas dukung kelompok tiang (Q_g) lebih besar daripada beban aksial (P) yang diterima. Artinya, fondasi tiang mampu menopang beban struktur *abutment* di atasnya dengan cukup baik, sehingga konstruksi tersebut dapat ditahan oleh kelompok fondasi tiang tanpa masalah.
- 4). Kebutuhan tulangan utama pada tiang bor untuk diameter 1,4 m didapatkan tulangan longitudinal 32 D25 dengan tulangan geser D13 - 60
- 5). Kebutuhan tulangan *pile cap* pada tiang bor diameter 1,4 m dengan ukuran *pile cap* 17000x6500x1800 mm didapatkan tulangan arah X untuk tulangan pokok D32 - 90, tulangan bagi D25 - 150 dan tulangan geser D13 - 300, sedangkan tulangan arah Y untuk tulangan pokok D32 - 140, tulangan bagi D25 - 150 dan tulangan geser D13 - 300.
- 6). Perencanaan perhitungan *sheet pile* didapatkan momen lentur maksimum 7,034 kNm, maka *sheet pile* menggunakan KSP $I_A(400 \ 85 \ 8)$ yang memiliki momen lentur 17,6 kNm.

DAFTAR PUSTAKA

- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2015. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Harianti, Erny dan Anugrah Pamungkas. 2013. *Desain Fondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta: ANDI.
- Alfian, Muhammad Taufiq. 2020. *Perencanaan Pondasi Bored Pile Pada Proyek Gedung Retail Mitra 10 Solo*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Fitri, Amanda Aisya. 2017. *Perencanaan Ulang Struktur Bawah Abutment Dengan Pondasi Bored Pile (Redesign Bottom Structure Abutment With Bored Pile Foundation)*. Universitas Islam Indonesia.

Kristanto, Ridwan. 2012. *Perencanaan Ulang Jembatan Sardjito II Dengan Struktur Gelagar Pelat Baja (Redesign of Sardjito II bridge With Steel Plate Girder Structure)*. Universitas Islam Indonesia.

Novianto, Arief Tiyas. 2012. *Perencanaan Ulang Jembatan Layang Jombor Dengan Tipe Box Girder Prategang Bentang Sederhana (Redesign of Jombor Flyover Using Simple Beam Prestressed Box Girder)*. Universitas Islam Indonesia.