

ANALISA PERUBAHAN *DESIGN* PONDASI BAWAH ABUTMENT-1 JEMBATAN KIKUBA PULAU ENGGANO DARI PONDASI SUMURAN MENJADI PONDASI *BORE PILE*

M. Arif Rahman S¹⁾, Nilda Tri Putri¹⁾

Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Andalas
Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat
Corresponding author: arifrahmanv11@gmail.com

Abstrak

Pondasi adalah bagian elemen- struktur yang berfungsi sebagai pendukung beban-beban konstruksi yang berada di atasnya. Beban-beban tersebut disalurkan ke dalam tanah, sehingga kedalaman Pondasi harus mencapai pada kedalaman tanah keras, oleh karena itu penentuan kedalaman dan jenis pondasi yang digunakan harus berdasarkan penyelidikan tanah yang dilakukan pada tahap perencanaan konstruksi jembatan. Pekerjaan proyek jembatan Kikuba direncanakan menggunakan pondasi sumuran dengan kedalaman 5 m. Setelah dilakukan penyelidikan tanah menggunakan alat pengeboran didapatkan hasil N-SPT 60 Abutment-1 pada kedalaman rata-rata 19 m, sehingga pondasi sumuran tidak dapat digunakan. Ketepatan pemilihan jenis Pondasi yang digunakan sangat tergantung kepada kedalaman tanah keras. Proyek Pembangunan jembatan Kikuba kedalaman tanah keras rata-rata pada kedalaman 19 m sehingga dilakukan analisis perubahan *design* pondasi sumuran menjadi pondasi *bore pile*, dengan memenuhi persyaratan teknis pondasi, dan analisis dengan metode *meyerhoof*.

Kata kunci: Konstruksi jembatan, daya dukung, pondasi *bore pile*, metode *Mayerhoof*.

Abstract

Foundation is a structural element that functions as a support for the construction loads above it. These loads are transmitted to the soil, so the depth of the foundation must reach the depth of hard soil; therefore, the determination of the depth and type of foundation used must be based on soil investigation conducted during the bridge construction planning phase. The Kikuba bridge project is planned to use pile foundations with a depth of 5 meters. After conducting soil investigation using drilling equipment, the N-SPT 60 results for Abutment-1 were obtained at an average depth of 19 meters, rendering pile foundations unsuitable. The accuracy of selecting the type of foundation used depends greatly on the depth of hard soil. The Kikuba bridge construction project encountered an average depth of hard soil at 19 meters, thus necessitating an analysis to change the design from pile foundations to bore pile foundations, while meeting the technical requirements of the foundation and analyzing using the Meyerhoof method.

Keywords: Bridge construction, bearing capacity, bore pile foundation, Meyerhoof method.

PENDAHULUAN

Pondasi adalah bagian elemen struktur yang berfungsi sebagai pendukung beban-beban konstruksi yang berada di atasnya. Beban-beban tersebut disalurkan ke dalam tanah, sehingga kedalaman pondasi harus mencapai pada kedalaman tanah keras, oleh karena itu, penentuan kedalaman dan jenis pondasi yang digunakan harus berdasarkan penyelidikan tanah yang dilakukan pada tahap perencanaan konstruksi jembatan.

Kegiatan proyek dalam mencapai hasil akhirnya dibatasi oleh anggaran, jadwal, dan mutu, yang dikenal sebagai tiga kendala atau *triple constraint* (Rani, 2017). Waktu dan biaya sangat berpengaruh terhadap keberhasilan dan kegagalan suatu proyek (Aryani dkk., 2016).

Perencanaan awal proyek pembangunan jembatan Kikuba Pulau Enggano Provinsi Bengkulu, direncanakan menggunakan pondasi sumuran untuk abutment 1 dan pondasi *bore pile* pada abutment 2. Sebelum memulai pelaksanaan pembangunan jembatan Kikuba, pihak kontraktor bersama pihak owner dan konsultan pengawas merasa ada kejanggalan terhadap pondasi antara abutment 1 dan abutment 2 yang berbeda, maka dilakukan penyelidikan tanah ulang.

Tujuan dari penelitian ini diantaranya:

1. Melakukan analisis perubahan desain pondasi sumuran menjadi pondasi *bore pile*.
2. Memberikan Keputusan yang tepat penggunaan pondasi pada proyek pembangunan Jembatan Kikuba.
3. Untuk dijadikan standar pelaksanaan pekerjaan yang memenuhi persyaratan teknis pondasi.

TINJAUAN PUSTAKA

Memilih pondasi yang memadai, perlu memperhatikan apakah pondasi itu cocok untuk berbagai keadaan di lapangan serta dapat diselesaikan secara ekonomis sesuai jadwal kerja, maka perlu pertimbangan:

- a. Keadaan tanah pondasi
- b. Batasan akibat konstruksi di atasnya
- c. Batasan dari sekelilingnya
- d. Waktu dan biaya pengerjaan

Pondasi diklasifikasikan menjadi 2, yaitu:

1. Pondasi Dangkal

Pondasi yang kedalamannya dekat dengan permukaan tanah dan mendukung beban secara langsung. Jenis-jenis pondasi dangkal, yaitu:

- a. Pondasi memanjang adalah Pondasi yang digunakan untuk mendukung dinding memanjang atau mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat.
- b. Pondasi Telapak adalah Pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom.
- c. Pondasi Rakit adalah Pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan apabila susunan kolom jaraknya sedemikian dekat di semua arahnya.

2. Pondasi Dalam

Pondasi yang kedalamannya cukup jauh dari permukaan tanah dan meneruskan beban bangunan ke tanah keras/batu yang relatif lebih jauh dari permukaan. Pondasi yang dikatakan Pondasi dalam adalah sebagai berikut:

- a. Pondasi Sumuran adalah Pondasi yang digunakan apabila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam. Bentuk peralihan antara pondasi

dangkal dan tiang.

- b. Pondasi Tiang digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman normal tidak mampu mendukung beban, sedangkan tanah keras terletak pada kedalaman yang sangat dalam.

Daya Dukung Terfaktor (σ_{ult}) atau *factored bearing capacity* adalah kemampuan tanah memikul tekanan atau tekanan maksimum pada batas runtuh.

Rumus : $\sigma = \sigma_{ult} / sf$

dimana :

- sf : *safety factor*
 : 3 untuk beban normal
 : 2 untuk beban darurat

Menurut Harianti & Pamungkas (2013), daya dukung terfaktor dipengaruhi oleh:

1. Nilai parameter tanah
2. Kedalaman pondasi (df)
3. Ukuran dan bentuk pondasi
4. Sifat tanah terhadap penurunan
5. Kedalaman muka air tanah

Kapasitas daya dukung pondasi *bore pile* pada prinsipnya adalah kekuatan yang diberikan oleh luas penampang ujung *bore pile* yang mencapai tanah keras dan tahanan gesekan yang diberikan oleh dinding sepanjang *bore pile*.

- a) Kapasitas Daya Dukung *Bore Pile* dari Hasil Sondir

Perbedaan tes dilapangan, sondir atau *Cone Penetration Test (CPT)* seringkali sangat dipertimbangkan berperan dari geoteknik. CPT atau sondir ini tes yang sangat cepat, sederhana, ekonomis dan tes tersebut dapat dipercaya dilapangan dengan pengukuran terus-menerus dari permukaan tanah-tanah dasar. CPT atau sondir ini dapat juga

mengklasifikasi lapisan tanah dan dapat memperkirakan kekuatan dan karakteristik dari tanah. Data tanah sangat diperlukan dalam perencanaan pondasi tiang untuk merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari *bore pile* sebelum pembangunan dimulai guna menentukan kapasitas daya dukung ultimit dari pondasi tiang.

Daya dukung ultimit pondasi *bore pile* dinyatakan dengan rumus:

$$Q_{ult} = (q_b \times A_p) \quad (2.1)$$

dimana:

- Q_{ult} : Kapasitas daya dukung *bored pile*.
 q_b : Tahanan ujung sondir.
 A_p : Luas penampang tiang.

- b. Kapasitas Daya Dukung *Bore Pile* dari Data Parameter Kuat Geser Tanah

Berdasarkan hasil pemeriksaan tanah melalui beberapa percobaan akan didapatkan nilai berat isi tanah (γ), nilai kohesif tanah (c) serta nilai sudut geser tanah (ϕ).

Perkiraan kapasitas daya dukung pondasi *bore pile* pada tanah pasir dan *silt* didasarkan pada data parameter kuat geser tanah, ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

1. Daya dukung ujung pondasi *bore pile (end bearing)*.

Untuk tanah kohesif:

$$Q_P = A_p \cdot c_u \cdot N_c^* \quad (2.2)$$

dimana:

- Q_P : Tahanan ujung per satuan luas, ton.
 A_p : Luas penampang *bored pile*, m².

Analisa Perubahan Design Pondasi Bawah Abutmen-1 Jembatan Kikuba Pulau Enggano dari Pondasi Sumuran Menjadi Pondasi *Bore Pile*

c_u : *Undrained cohesion*, ton/m².

N_c^* : Faktor daya dukung tanah, untuk pondasi *bore pile* nilai 9

a. Daya Dukung selimut Bore Pile (*skin friction*)

$$Q_s = f \cdot i \cdot L_i \cdot p \quad (2.3)$$

dimana:

f_i : Tahanan satuan skin friction, ton/m².

L_i : Panjang lapisan tanah, m.

p : Keliling tiang, m.

Q_s : Daya dukung selimut tiang, ton

Pada tanah kohesif:

$$F = \alpha_i^* \cdot c_u \quad (2.4)$$

dimana:

α_i^* : Faktor adhesi, 0,55 (Reese & Wright, 1977).

c_u : *Undrained cohesion*, ton/m².

Pada tanah non-kohesif:

$$F = K_0 \cdot \sigma_v' \cdot \tan \delta \quad (2.5)$$

dimana :

K_0 : Koefisien tekanan tanah

K_0 : $1 - \sin \phi$

σ_v' : Tegangan vertikal efektif tanah, ton/m².

σ_v' : $\gamma \cdot L'$

L' : 15D

D : Diameter

δ : $0,8 \cdot \Phi$

b. Kapasitas Daya Dukung *Bore Pile* dari Hasil SPT

Menurut Meyerhof dinyatakan dengan rumus:

$$Q_{ult} = 40 \cdot N_b \cdot A_b + \check{N} \cdot A_s \text{ (kN)}$$

dan harus $\leq Q_{ult} = 380 \cdot \check{N} \cdot A_b$

dimana:

N_b : Nilai SPT di sekitar dasar tiang, dihitung dari 8D di

atas dasar tiang s.d 4D di bawah dasar tiang.

\check{N} : Nilai SPT rata-rata di sepanjang tiang.

A_b : Luas dasar tiang (m²)

A_s : Luas selimut tiang (m²)

Pondasi *bore pile* harus dirancang memperhitungkan beban-beban horizontal atau lateral jika mendukung beban horizontal yang cukup besar. Perancangan pondasi tiang yang menahan gaya lateral, harus memenuhi dua kriteria, yaitu:

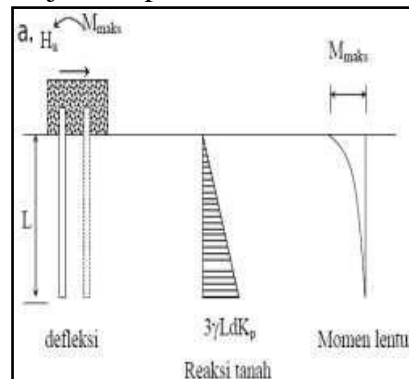
1. Faktor aman terhadap keruntuhan ultimit,
2. Defleksi yang terjadi akibat beban harus masih dalam batas toleransi.

Tiang ujung jepit tanah kohesif Untuk tiang pendek, dapat dihitung tahanan tiang ultimit terhadap beban lateral:

$$H_u = 9cud (L - 3d/2)$$

$$M_{maks} = H_u (L/2 + 3d/4)$$

Nilai-nilai H_u yang diplot dalam grafik hubungan L/d dan H_u/cud^2 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Hubungan L/d dan H_u/cud^2

Momen dari permukaan tanah Untuk tiang panjang sedang:

$$M_y = (9/4) cud.g^2 - 9cud.f (3d/2 + f/2)$$

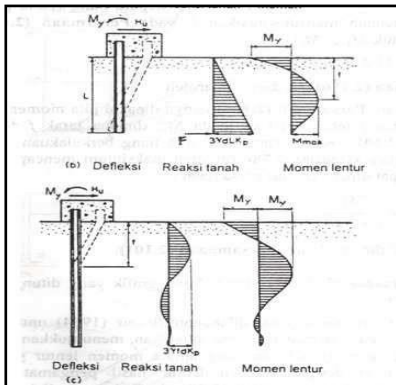
Dari persamaan di atas H_u dapat dihitung dengan mengambil:

$$L = 3d/2 + f + g,$$

Untuk tiang panjang, H_u dinyatakan dengan persamaan :

$$H_u = \frac{2M_y}{3d/2 + f/2}$$

Nilai-nilai H_u yang diplot dalam grafik hubungan M_y/cud^3 dan H_u/cud^2 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan M_y/cud^3 dan H_u/cud^2

Beban lateral ultimit untuk tiang pendek dinyatakan dengan:

$$H_u = (3/2) \gamma d L^2 K_p$$

Momen yang terjadi pada kepala tiang,
 $M_{maks} = (2/3) H_u L = \gamma d L^3 K_p$

Jika $M_{maks} > M_y$, maka keruntuhan tiang akan berbentuk seperti tiang sedang, sehingga dapat diperoleh :

$$F = (3/2) \gamma d L^2 K_p - H_u,$$

sehingga nilai H_u dapat dihitung dengan:

$$M_y = (1/2) \gamma d L^3 K_p - H_u L$$

Jika tiang panjang, H_u dapat diperoleh dari persamaan,

$$H_u = 2M_y / (e + 2f/3)$$

Persamaan di atas dapat diplot grafik yang ditunjukkan pada gambar grafik hubungan $H_u/(K_p \gamma d^3)$ dan $M_y/(d \gamma K_p)$.

ANALISIS

Data Teknis Jembatan dan Pondasi

1. Panjang Jembatan : 30 m
2. Lebar Jembatan : 7,60 m
3. Sistem struktur atas : konstruksi

- balok girder
4. Lantai : Beton bertulang
5. Mutu beton : $f_c' 30 \text{ MPa}$
6. Pondasi Abutment 1 : sumuran diameter 3 m
7. Pondasi Abutment 2 : *bore pile*
 - Panjang bore pile : 15 m
 - Diameter bore pile : 0,80 m
 - Jumlah titik bore pile : 8 titik
 - Jarak titik bore pile : 2 m
 - Beban (P) pondasi total : 6246,26kN

Survey penyelidikan tanah dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah, dalam hal ini dilakukan dengan alat bor mesin.

Analisis perubahan desain pondasi sumuran menjadi pondasi *bore pile*, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menghitung kapasitas daya dukung *bore pile*
2. Menghitung tahanan lateral tiang *bore pile*
3. Menghitung jumlah tiang *bore pile* yang dibutuhkan untuk abutment 1

PEMBAHASAN

Dari data SPT pengujian tanah diperoleh :

- \check{N} : 48
- N : 60
- L : 15 m
- D : 0,80 m

$$q_p = 40 \cdot N \cdot L/D$$

$$< 380 \cdot \check{N} = 380 \cdot 48 = 18.240 \text{ kN/m}^2$$

$$= 40 \cdot 60 \cdot 15/0,8$$

$$= 45.000 \text{ kN/m}^2$$

Berarti digunakan $q_p = 18.240 \text{ kN/m}^2$ qall
 $= 18.240/3 = 6.080 \text{ kN/m}^2$

Data *bore pile*:

Diameter (D) = 0,80 m
 Panjang (L) = 15 m

$$\text{Luas Penampang } (A_b) = 1/4 \cdot 3,14 \cdot D$$

$$= 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,80^2$$

$$= 0,5 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas selimut (As)} &= 3,14 \cdot D \cdot L \\ &= 3,14 \cdot 0,80 \cdot 15 \\ &= 37,68 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= 40 \cdot N \cdot A_b + \check{N} \cdot A_s \\ &= 40 \cdot 60 \cdot 0,5 + 48 \cdot 37,68 \\ &= 1.200 + 1.808,64 \\ &= 3.008,64 \text{ kN} \\ &< 380 \cdot \check{N} \cdot A_b = 380 \cdot 48 \cdot 0,5 \\ &= 9.120 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya dukung izin (Qall)} &= Q_{ult}/sf \\ &= 3.008,64/3 \\ &= 1.002,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jumlah tiang yang dibutuhkan:
 $n = 6246,26/1.002,88 = 6,23$ buah.
 digenapkan 8 buah *bore pile*. Jarak antar tiang, $S = 2$ meter.

Tahapan Lateral Tiang *Bore Pile*

Diameter tiang bore pile, $D = 0,80$ m

Panjang tiang, $L = 15$ m

Modulus *Subgrade*, $27000/1,5$

$K = 18.000 \text{ kN/m}^3$

Modulus elastisitas,

$E_c = 23.500.000 \text{ kN/m}^2$

Momen Inersia, $3,14/64 \cdot D^4$

$I_c = 0,02 \text{ m}^4$

Modulus Tanah Konstan,

$$R = \sqrt[4]{\frac{EI}{K}} = \sqrt[4]{\frac{23500000 \cdot 0,02}{18000}} = 6,53$$

Kriteria tiang *bore pile* berdasarkan faktor kekakuan:

$$\begin{aligned} L < 2R &= 15 < 2 \cdot 6,53 \\ &= 15 < 13,06 \text{ tipe tiang kaku} \\ &\quad \text{(pendek)} \end{aligned}$$

$$H_{izin} = 175,35/3 = 58,45 \text{ kN}$$

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari analisis, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pondasi sumuran tidak sesuai digunakan pada kasus ini karena kedalaman tanah keras mencapai 19 meter sehingga digunakan Pondasi dalam (*bore pile*).
- Daya dukung izin tanah yang didapat 6080 kN/m^2 sedangkan tegangan yang terjadi akibat

$$\begin{aligned} \text{beban} &= 6246,26 / 0,8 \cdot 8 \\ &= 975,98 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

c. Daya dukung izin pondasi *bore pile* = $1002,88 \text{ kN}$.

d. Banyak tiang bore pile yang dibutuhkan = 8 buah dengan jarak antar tiang 2 meter arah x dan y.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryani, F., Rafie, & Syahrudin, 2016, *Analisa Penerapan Manajemen Waktu pada Proyek Konstruksi Jalan Lingkungan Lokasi Kalimantan Barat*, Jurnal Teknik Sipil Untan, Hal 1–16.
- Harianti, Erny & Pamungkas, Anugrah, 2013, *Desain Pondasi tahan Gempa sesuai SNI 03-1726-2002 dan SNI03-2847-2002*, Andi, Yogyakarta.
- Rani, H. A., 2017, *Relationship Between The Nine Functions of Project Management and Project Success*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala Banda Aceh, 1(2).