

STUDI ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI ABUTMENT JEMBATAN KALIGAWA KOTA SEMARANG

Titin Nurinayah, Dwi Sat Agus Yuwana, Yusfita Chrisnawati

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah, 56116

E-mail: Titinnurinayah05@gmail.com, dwisatagus@untidar.ac.id, Yusfita.chrisnawati.ac.id

Intisari

Pemilihan jenis pondasi serta analisis daya dukungnya harus cermat, hal ini dikarenakan kekuatan pondasi sebagai pendukung struktur atas akan sangat mempengaruhi kekuatan berdirinya suatu bangunan. Sehingga diperlukan analisis mengenai kekuatan atau daya dukung pondasi dengan perhitungan manual dan pemodelan. Objek penelitian ini adalah Jembatan Kaligawe dengan pondasi tiang pancang sebagai struktur bawahnya yang terletak di Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Metode yang digunakan adalah Mayerhof serta software Plaxis 2D V.8.6 sebagai alat bantu hitung dan pemodelan. Dari metode Mayerhof didapatkan nilai daya dukung ultimit dan stabilitas geser serta guling arah x dan y. Sedangkan untuk software Plaxis 2D V.8.6 menghasilkan nilai keamanan pondasi secara keseluruhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dukung pondasi tiang pancang (Q_u) yang dianalisis dengan metode Mayerhof sebesar 1348 kN, dan angka keamanan terendah terdapat pada stabilitas geser abutmen arah x sebesar 3.1 pada kombinasi-3 dan kombinasi-4, sedangkan angka keamanan pondasi secara keseluruhan dari perhitungan Plaxis 2D V.8.6 sebesar 39.9.

Kata Kunci: *Pondasi Tiang Pancang, Daya Dukung Pondasi, Plaxis 2D V.8.6*

Abstract

We have to select the type of foundation and analyze its bearing capacity carefully, because the strength of the foundation as a support for the superstructure will greatly affect the strength of a building. So it requires an analysis of the strength or bearing capacity of the foundation with manual calculations and modeling. The object of this research is the Kaligawe Bridge with a pile foundation as its substructure, located in Semarang City, Central Java Province. The method used is Mayerhof and Plaxis 2D V.8.6 software as calculation and modeling tools. From the Mayerhof method, the ultimate bearing capacity and shear stability and rolling in the x and y directions were obtained. While for the Plaxis 2D V.8.6 software, it produces the overall foundation safety value. The results showed that the carrying capacity of the pile foundation (Q_u) analyzed by the Mayerhof method was 1348 kN, and the lowest safety rate was in the x-direction shear stability of 3.1 in combination-3 and combination-4, while the overall foundation safety figure from the Plaxis 2D V.8.6 calculation was 39.9.

Keyword: *Pile Foundation, Bearing Capacity, Plaxis 2D.V.8.6*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan jembatan adalah salah satu langkah untuk memudahkan sarana moda transportasi pada berbagai wilayah di negara Indonesia, khususnya untuk melintasi medan yang sulit seperti sungai, danau, jalan raya, dan kereta api. Sarana transportasi yang mudah akan berdampak pada meningkatnya tingkat ekonomi masyarakat, sehingga pembangunan infrastruktur sangat digalakkan di wilayah Indonesia melalui program sembilan prioritas Nawacita yang menjadi bagian dari Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) tahun 2015-2019.

Salah satu aksi nyata dari program pembangunan infrastruktur tersebut adalah pembangunan penggantian jembatan Kaligawe di Kota Semarang, yang pembangunannya telah dilaksanakan pada tahun 2018-2019. Terdapat dua jembatan pada pembangunan penggantian jembatan Kaligawe, yaitu jembatan A dan jembatan B. Pelaksanaan pembangunan penggantian jembatan menggunakan desain struktur beton bertulang dan dengan pondasi tiang pancang.

Kapasitas dukung pondasi tiang pancang diperoleh dari kapasitas dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan kapasitas geser atau selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh dari gaya gesek antara tiang pancang dengan tanah di sekelilingnya (Arfandie, 2011)

Namun, terdapat perbedaan pada pembangunan peninggian jembatan kaligawe ini, yaitu pondasi yang digunakan jembatan Kaligawe A merupakan kontruksi

baru sedangkan pada jembatan Kaligawe B menggunakan kontruksi pondasi lama. Dua jembatan tersebut dilalui kendaraan yang sama padatnya, dikarenakan merupakan jalan yang menghubungkan antara Kota Semarang dengan Kabupaten Demak. Selain itu dilakukan pelebaran pada pembangunan Jembatan Kaligawe ini, sehingga dapat dipastikan terdapat penambahan volume kendaraan yang melintasi jalan tersebut.

Kasus kegagalan bangunan akibat kegagalan pondasi tidak dapat diperbaiki, sehingga seluruh bangunan (gedung atau jembatan) tidak dapat berfungsi lagi, atau untuk perbaikannya harus memerlukan biaya tinggi. Menurut (Legrans & Imbar, 2011) dalam merencanakan pondasi, permasalahan penting yang harus diperhatikan adalah besar daya dukung tanah yang mampu memikul beban kerja yang bekerja pada pondasi, dan penurunan (*settlement*) yang terjadi tidak melebihi nilai penurunan maksimum yang disyaratkan.

Berdasarkan indikasi diatas, daya dukung pondasi pada pembangunan jembatan adalah hal penting yang harus diperhatikan guna mengantisipasi terjadinya kegagalan konstruksi, hal tersebut juga berlaku pada pembangunan penggantian jembatan Kaligawe yang menggunakan pondasi lama pada bagian abutment sedangkan beban yang diterima merupakan konstruksi baru. Maka dari itu penulis akan melakukan perhitungan ulang terhadap daya dukung pondasi abutment Jembatan Kaligawe B tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Jembatan

Menurut (Afdhau, 2019) Jembatan ialah suatu konstruksi yang dipakai meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau jalan lalu lintas biasa). Menurut Waluyo dkk (2016) jembatan merupakan prasarana transportasi darat yang memegang peranan penting dan merupakan investasi besar yang harus dijaga keandalannya.

Dalam pembangunan suatu konstruksi jembatan, hal pertama yang dilaksanakan di lapangan adalah pekerjaan pondasi (struktur bawah) setelah itu dilanjutkan dengan pekerjaan struktur atas. Menurut (Arfandie, 2011), pemilihan pondasi ini tergantung pada struktur atas, apakah termasuk konstruksi beban ringan atau beban berat dan juga tergantung pada jenis tanahnya. Untuk konstruksi dengan beban ringan dan kondisi tanah yang cukup baik, biasanya penggunaan pondasi dangkal sudah memadai untuk mendukung struktur atas bangunan. Tetapi untuk konstruksi bangunan dengan beban yang besar biasanya pondasi dalam yang menjadi pilihan, dan secara umum permasalahan perencanaan pada pondasi dalam lebih rumit dibandingkan dengan pondasi dangkal.

Pondasi merupakan suatu bagian konstruksi bangunan yang berfungsi meneruskan beban bangunan di atasnya (termasuk beban sendiri), kepada tanah tempat pondasi tersebut berpijak, tanpa mengakibatkan terjadinya penurunan bangunan di luar batas toleransinya (Aulia &

Supardin, 2017).

2.2 Macam-Macam Pondasi

Bentuk pondasi ditentukan oleh berat bangunan dan keadaan tanah disekitar bangunan, sedangkan kedalaman pondasi suatu bangunan ditentukan oleh letak tanah padat yang mendukung pondasi. Jika terletak pada tanah miring lebih dari 10%, maka pondasi bangunan tersebut harus dibuat rata atau dibentuk tangga dengan bagian bawah dan atas rata. Jenis pondasi dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Pondasi dangkal
2. Pondasi dalam

2.3 Daya Dukung Tanah

Kapasitas daya dukung ultimit tiang dapat dihitung secara empiris dan nilai N uji SPT. Untuk tiang pancang dalam, Mayerhof (1976) menyarankan persamaan sebagai berikut (Hardiyatmo, 2003):

1. Kapasitas Ultimit Ujung Tiang

$$Q_p = A_p \cdot 40 N_b \quad (2.1)$$

Dengan :

Q_p = Kapasitas ultimit ujung tiang (kN)

A_p = Luas penampang ujung tiang (m^2)

N_b = Nilai SPT dilapisan tanah keras, dengan nilai batas maksimum 40

2. Kapasitas Ultimit Kulit Tiang

$$Q_s = A_s \cdot f_s \quad (2.2)$$

Dengan :

f_s = αN

A_s = Luas kulit tiang (m^2)

f_s = Satuan friksi tiang

N = Nilai N_{SPT} rata-rata sepanjang tiang dengan harga batas 0.2 N sekitar 10 ton/ m^2

x = 0.2, khusus untuk tiang baja nilainya 0.1

3. Kapasitas Daya Dukung Ultimit Tiang dan Kapasitas Daya Dukung Ijin

Kapasitas daya dukung ultimit tiang pancang adalah hasil penjumlahan dari kapasitas dukung tiang (Q_p) dan kapasitas dukung selimut tiang (Q_s), dinyatakan dalam persamaan berikut (Mayerhof, 1976),

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.3)$$

Kapasitas daya dukung ijin adalah kapasitas daya dukung ultimit yang sudah direduksi oleh factor aman (SF)

$$Q_a = Q_u / SF \quad (2.4)$$

SF = 2 (Klasifikasi struktur permanen dan merupakan kontrol baik)

Tabel Error! No text of specified style in document..1 Faktor Aman

| Klasifikasi Struktur | Faktor Aman (SF) | | | |
|----------------------|------------------|----------------|---------------|----------------------|
| | Kontrol Baik | Kontrol Normal | Kontrol Jelek | Kontrol Sangat Jelek |
| Bangunan Monumental | 2.3 | 3 | 3.5 | 4 |
| Permanen | 2 | 2.5 | 2.8 | 3.4 |
| Sementara | 1.4 | 2 | 2.3 | 2.8 |

a. Dinding Penahan Tanah dan Abutmen

Analisis kestabilan dinding penahan tanah dihitung sebagai berikut (Das, 2007):

1. Stabilitas terhadap guling

Faktor keamanan digunakan untuk memastikan keamanan suatu struktur dinding penahan tanah terhadap penggulingan ($FS_{\text{overturning}}$) > antara 2-3, dimana:

$$FS_{\text{overturning}} = \frac{\sum MI}{\sum Mg} > (2-3) \quad (2.5)$$

dengan:

$\sum Mg$ = Total momen yang dapat mengakibatkan penggulingan

$\sum MI$ = Total momen yang melawan penggulingan.

2. Stabilitas terhadap penggeseran

Faktor keamanan yang digunakan untuk memastikan keamanan struktur terhadap penggeseran (FS_{sliding}) adalah:

$$FS_{\text{sliding}} = \frac{\sum V}{\sum H} > (1.4-1.5) \quad (2.6)$$

Dengan:

$\sum V$ = Total gaya yang menahan penggeseran

$\sum H$ = Total gaya yang menyebabkan penggeseran

3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah.

Faktor keamanan untuk memastikan keamanan struktur terhadap daya dukung tanah ($FS_{\text{bearing capacity}}$) adalah:

$$FS_{\text{bearing capacity}} = \frac{\sum q_u}{\sum q_{maks}} \quad (2.7)$$

2.5 Pembebanan Jembatan

Tabel Error! No text of specified style in document..2 Kombinasi Pembebanan

| No | Kombinasi Beban | Uraian |
|----|-----------------|--|
| 1 | Kombinasi I | Berat Sendiri (MS), Beban Mati Tambahan (MA), Tekanan Tanah (TA), Beban Lajur "D" (TD) dan Beban Pedestrian (TP) |
| 2 | Kombinasi II | Berat Sendiri (MS), Beban Mati Tambahan (MA), Tekanan Tanah (TA), Beban Lajur "D" (TD), Beban |

| No | Kombinasi Beban | Uraian |
|----|-----------------|---|
| | | Pedestrian (TP), Beban Akibat Gaya Rem (TB), dan Beban Angin (EW) |
| 3 | Kombinasi III | Berat Sendiri (MS), Beban Mati Tambahan (MA), Tekanan Tanah (TA), Beban Lajur "D" (TD) Beban Pedestrian (TP), Beban Akibat Gaya Rem (TB), Beban Angin (EW), dan Gaya Gesekan (FB). |
| 4 | Kombinasi IV | Berat Sendiri (MS), Beban Mati Tambahan (MA), Tekanan Tanah (TA), Beban Lajur "D" (TD) Beban Pedestrian (TP), Beban Akibat Gaya Rem (TB), Beban akibat Temperatur (ET), Beban Angin (EW) dan Beban Akibat Gesekan pada Perletakan (FB). |
| 5 | Kombinasi V | Berat Sendiri (MS), Beban Mati Tambahan (MA), dan Beban Akibat Gaya Gempa (EQ). |

2.6 Pemodelan dengan Software *Plaxis 2D*

Plaxis 2D adalah aplikasi komputer atau software yang digunakan untuk

menganalisis displacement, deformasi dan stabilitas dari suatu konstruksi di bidang geoteknik, serta simulasi terhadap perilaku dari suatu kondisi tanah. Analisis dalam penelitian ini dilakukan menggunakan program komputer Plaxis V8.6 dengan pembebanan yang dilakukan sesuai dengan beban rencana. Pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang dengan diameter pondasi 60 cm dan kedalaman 45 m dengan mengampu beban jembatan di atasnya sebesar 9462.52 kN. Penelitian ini hanya berfokus pada bagian abutment dan tidak memperhitungkan pada bagian pilar dari jembatan Kaligawe tersebut. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam menganalisis pondasi abutment pada jembatan Kaligawe Kota Semarang menggunakan Plaxis V8.6.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data dan Sumber Data

Pada penelitian ini dilakukan pada jembatan Kaligawe kota Semarang untuk menganalisis keamanan pondasi pada abutment yang ditinjau dari daya dukung dan stabilitas pondasi pada abutmen tersebut, metode yang digunakan untuk menghitung analisis tersebut adalah Mayerhof dan dengan *Plaxis* sebagai alat bantu hitung. Studi kasus dilakukan pada salah satu Jembatan di kota Semarang, yaitu jembatan Kaligawe yang menghubungkan kota Semarang dengan kabupaten Demak. Data yang dibutuhkan dalam evaluasi daya dukung pondasi pada pembanguna jembatan Kaligawe adalah data teknis dan tanah pada perencanaan jembatan tersebut.

3.2 Metode dan Teknik Penyediaan

Data

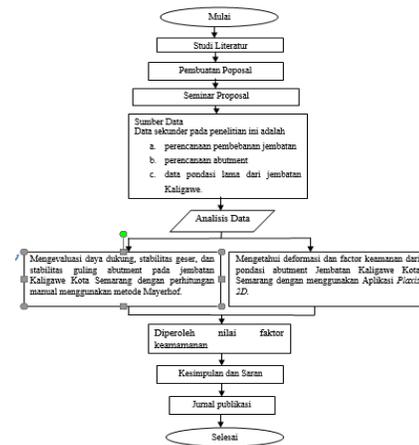
Data teknis dan tanah pada perencanaan jembatan Kaligawe yang dibutuhkan guna menunjang penelitian ini diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Semarang.

a. Data sekunder pada penelitian ini adalah perencanaan pembebanan jembatan, perencanaan abutment, dan data pondasi lama dari jembatan Kaligawe.

Studi kasus penelitian ini adalah jembatan Kaligawe, Kota Semarang. Jembatan ini selesai dibangun pada bulan Desember 2019.

3.3 Metode Penelitian

Dalam penelitian analisis studi daya dukung pondasi abutmen jembatan Kaligawe Kota Semarang ini menghitung daya dukung pondasi, stabilitas guling, dan stabilitas geser menggunakan metode Mayerhof untuk perhitungan manualnya, kemudian hasilnya dibandingkan dengan perhitungan menggunakan *software Palxis 2D*. Penelitian dilakukan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari rencana pembangunan Jembatan Kaligawe dan Dinas Pekerjaan Umum Kota Semarang.



Gambar 3.3 Elemen Alir Penelitian

Dalam menganalisis daya dukung pada pondasi abutment jembatan Kaligawe dilakukan dengan mengolah data yang telah didapat dan diaplikasikan menggunakan perhitungan menurut Mayerhof secara manual serta dengan bantuan *software*. Setelah proses perhitungan selesai maka akan didapat angka daya dukung pondasi abutmen jembatan tersebut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Jembatan

Berikut ini adalah data – data umum terkait proyek pembangunan peninggian Jembatan Kaligawe Kota Semarang.

- Nama proyek : Penggantian Jembatan Kaligawe, CS
- Lokasi proyek : Kota Semarang
- Pelaksana : PT. Subasumi Cipta Senawira –
PT. Bermuda Mulya Buwana, KSO
- Konsultan supervisi : PT. Adhiyasa Desicon (Kso) –
PT. Portal Engineering Perkasa –
PT. Binatama Wirawredha Konsultan –
PT. Prima Cipta Karsa Sabbapathamam

e. Total panjang jembatan : 60,2 meter
Berikut adalah data teknis pada perencanaan pembangunan peninggian Jembatan Kaligawe Kota Semarang.

o Data

a. Tebal slab lantai kendaraan

$$t_s = 0.25 \text{ m}$$

b. Tebal lapisan aspal

$$t_a = 0.04 \text{ m}$$

c. Tebal genangan air hujan

$$t_h = 0.05 \text{ m}$$

d. Jarak antar girder (gelagar memanjang)

$$S = 1.85 \text{ m}$$

e. Lebar jalur lalu lintas

$$b_1 = 9.5 \text{ m}$$

f. Lebar trotoar

$$b_2 = 0.5 \text{ m}$$

g. Tebal lantai trotoar

$$t_t = 0.2 \text{ m}$$

h. Lebar total jembatan

$$b = 12.1 \text{ m}$$

1. Mutu beton K 350

a. Kuat tekan beton

$$f'_c = 29.05 \text{ MPa}$$

b. Modulus elastisitas beton

$$E_c = 253332 \text{ MPa}$$

1.2 *Spesific grafiti*

a. berat jenis baja

$$= 7850 \text{ Kg/m}^3$$

b. berat jenis beton bertulang

$$= 2400 \text{ Kg/m}^3$$

c. berat jenis aspal

$$= 2200 \text{ Kg/m}^3$$

d. berat jenis air hujan

$$= 1000 \text{ Kg/m}^3$$

Tabel 4.1 Rekap Kombnasi Beban untuk Perencanaan Tegangan Kerja

| No | Kombinasi beban | Tegangan berlebihan | P (kN) | T _x (kN) | T _y (kN) | M _x (kNm) | M _y (kNm) |
|----|-----------------|---------------------|---------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | KOMBINASI-1 | 0% | 9447.84 | 339.968 | | -4130.2 | 0 |
| 2 | KOMBINASI-2 | 25% | 9462.52 | 589.968 | 20.8572 | -2757.7 | 110.353 |
| 3 | KOMBINASI-3 | 40% | 9462.52 | 2193.29 | 20.8572 | 4617.99 | 110.353 |
| 4 | KOMBINASI-4 | 40% | 9462.52 | 2209.71 | 20.8572 | 4693.17 | 110.353 |
| 5 | KOMBINASI-5 | 50% | 8907.34 | 227.13 | 908.54 | -4040.61 | 524.186 |

4.2 Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Nilai N-SPT

Perhitungan kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang pada setiap kedalaman dari data SPT menggunakan metode Mayerhof.

a. Kapasitas ultimit ujung tiang

$$Q_p = A_p \cdot 40 \cdot N_b$$

$$A_p = \pi \cdot r^2 \\ = 3.14 \times 0.3^2 \\ = 0.282 \text{ m}^2$$

$$N_b = 21$$

$$Q_p = A_p \cdot 40 \cdot N_b \\ = 0.282 \times 40 \times 21 \\ = 236.88 \text{ kN} \\ = 24.16 \text{ ton}$$

b. Kapasitas ultimit kulit tiang

$$Q_s = A_s \cdot f_s$$

$$D = 0.6 \text{ m}$$

$$Z = 45 \text{ m}$$

$$A_s = \pi \cdot D \cdot z \\ = 3.14 \times 0.6 \times 45 \\ = 75.398 \text{ m}^2$$

$$N = 16.63$$

$$0.2 N = 0.2 \times 16.63 \\ = 3.326 < 10, \text{ maka dipakai } N = 16.63$$

$$X = 0.2 \text{ (tiang beton)}$$

$$f_s = X \cdot N \\ = 0.2 \times 16.63 \\ = 3.326 \text{ ton/m}^2$$

$$Q_s = A_s \cdot f_s \\ = 75.398 \times 3.326 \\ = 250.773 \text{ ton}$$

c. Kapasitas daya dukung ultimit

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 24.16 + 250.773 \\ &= 274.993 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

$$= \frac{274.993}{2}$$

$$= 137.496 \text{ ton}$$

$$= 1348 \text{ kN}$$

4.3 Kontrol Terhadap Guling dan Geser

4.2 Stabilitas Guling Arah X

| No | Kombinasi beban | k | P (kN) | M _x (kNm) | M _{px} (kNm) | SF | Keterangan |
|----|-----------------|-----|---------|----------------------|-----------------------|------|------------|
| 1 | KOMBINASI-1 | 0% | 9447.84 | -4130.2 | 16533.72 | 4 | OK |
| 2 | KOMBINASI-2 | 25% | 9462.52 | -2757.7 | 20699.26 | 7.5 | OK |
| 3 | KOMBINASI-3 | 40% | 9462.52 | 4617.99 | 23183.17 | 5.02 | OK |
| 4 | KOMBINASI-4 | 40% | 9462.52 | 4693.17 | 23183.17 | 4.9 | OK |
| 5 | KOMBINASI-5 | 50% | 8907.34 | -4040.61 | 23381.77 | 5.7 | OK |

4.3 Stabilitas Guling Arah Y

| No | Kombinasi beban | k | P (kN) | M _y (kNm) | M _{py} (kNm) | SF | Keterangan |
|----|-----------------|-----|---------|----------------------|-----------------------|-------|------------|
| 1 | KOMBINASI-1 | 0% | 9447.84 | 0 | 56687.04 | | |
| 2 | KOMBINASI-2 | 25% | 9462.52 | 110.353 | 70968.9 | 643.1 | OK |
| 3 | KOMBINASI-3 | 40% | 9462.52 | 110.353 | 79485.17 | 720.2 | OK |
| 4 | KOMBINASI-4 | 40% | 9462.52 | 110.353 | 79485.17 | 720.2 | OK |
| 5 | KOMBINASI-5 | 50% | 8907.34 | 524.186 | 80166.06 | 152.9 | OK |

4.4 Stabilitas Geser Arah X

| No | Kombinasi beban | k | P (kN) | T _x (kN) | H (kN) | SF | Keterangan |
|----|-----------------|-----|---------|---------------------|----------|------|------------|
| 1 | KOMBINASI-1 | 0% | 9447.84 | 339.968 | 6332.711 | 18.6 | OK |
| 2 | KOMBINASI-2 | 25% | 9462.52 | 589.968 | 6721.123 | 11.3 | OK |
| 3 | KOMBINASI-3 | 40% | 9462.52 | 2193.29 | 6949.687 | 3.1 | OK |
| 4 | KOMBINASI-4 | 40% | 9462.52 | 2209.71 | 6949.687 | 3.1 | OK |
| 5 | KOMBINASI-5 | 50% | 8907.34 | 227.132 | 6819.476 | 30 | OK |

4.5 Stabilitas Geser Arah Y

| No | Kombinasi beban | k | P (kN) | T _y (kN) | H (kN) | SF | Keterangan |
|----|-----------------|-----|---------|---------------------|----------|-------|------------|
| 1 | KOMBINASI-1 | 0% | 9447.84 | | 6332.711 | | |
| 2 | KOMBINASI-2 | 25% | 9462.52 | 20.8572 | 6721.123 | 322.2 | OK |
| 3 | KOMBINASI-3 | 40% | 9462.52 | 20.8572 | 6949.687 | 333.2 | OK |
| 4 | KOMBINASI-4 | 40% | 9462.52 | 20.8572 | 6949.687 | 333.2 | OK |
| 5 | KOMBINASI-5 | 50% | 8907.34 | 908.54 | 6819.476 | 7.5 | OK |

4.6 Tegangan yang Bekerja terhadap Pondasi

| No | Kombinasi beban | Tegangan Berlebihan | P (kN) | M _x (kNm) | M _y (kNm) | Q _{maks} (kN/m ²) | Q _{min} (kN/m ²) |
|----|-----------------|---------------------|---------|----------------------|----------------------|--|---------------------------------------|
| 1 | KOMBINASI-1 | 100% | 9447.84 | -4130.2 | 0 | 1068.374 | 618.477 |
| 2 | KOMBINASI-2 | 125% | 9462.52 | -2757.7 | 110.353 | 1018.256 | 567.66 |
| 3 | KOMBINASI-3 | 140% | 9462.52 | 4617.99 | 110.353 | 717.2072 | 266.611 |
| 4 | KOMBINASI-4 | 140% | 9462.52 | 4693.17 | 110.353 | 714.1386 | 263.542 |
| 5 | KOMBINASI-5 | 150% | 8907.34 | -4406.3 | 227.69 | 1037.461 | 613.302 |

4.7 Daya Dukung Izin Aksial

| No | Kombinasi beban | Tegangan Berlebihan | Q _{maks} (kN/m ²) | Kontrol terhadap Daya Dukung Izin | Tegangan Izin (kN/m ²) | Ket |
|----|-----------------|---------------------|--|-----------------------------------|------------------------------------|------|
| 1 | KOMBINASI-1 | 100% | 1068.374 | <100% x daya dukung izin | 1348 | Aman |
| 2 | KOMBINASI-2 | 125% | 1018.256 | <125% x daya dukung izin | 1685 | Aman |
| 3 | KOMBINASI-3 | 140% | 717.2072 | <140% x daya dukung izin | 1887.2 | Aman |
| 4 | KOMBINASI-4 | 140% | 714.1386 | <140% x daya dukung izin | 1887.2 | Aman |
| 5 | KOMBINASI-5 | 150% | 1037.461 | <150% x daya dukung izin | 2022 | Aman |

Pada tabel di atas menunjukkan hasil dari perhitungan daya dukung izin aksial pada pondasi abutment jembatan Kaligawe Kota Semarang yang membuktikan bahwa pondasi tersebut aman terhadap beban yang bekerja. Seperti yang terlihat pada tabel bahwa Q maksimum dari bangunan ini tidak melebihi dari angka tegangan yang diizinkan, maka dapat dikatakan bahwa bangunan dengan pondasi ini aman.

4.4 Pemodelan dengan Software Plaxis

2D

Hasil dari perhitungan dengan menggunakan alat bantu hitung *software Plaxis 2D* pada pondasi abutment jembatan Kaligawe Kota Semarang yang menghasilkan nilai angka keamanan sebesar 39.9, maka dapat disimpulkan bahwa pondasi tersebut aman terhadap yang bekerja di atasnya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan analisis dan pembahasan pada penelitian tentang Evaluasi Daya Dukung Pondasi Abutment Jembatan Kaligawe Kota Semarang yang telah dilakukan, hasil analisis kapasitas dukung dengan menggunakan data lapangan maupun data laboratorium dapat disimpulkan bahwa,

1. Abutment pada pondasi jembatan tersebut aman terhadap stabilitas geser arah x dengan angka keamanan 18.6 (kombinasi-1), 11.3 (kombinasi-2), 3.1 (kombinasi-3), 3.1(kombinasi-4), 30 (kombinasi-5) sedangkan angka keamanan pada arah y 322.2 (kombinasi-2), 333.2 (kombinasi-3), 333.2 (kombinasi-4), 7.5 (kombinasi-5).
2. Abutment pada pondasi jembatan tersebut aman terhadap stabilitas guling arah x dengan angka keamanan 4 (kombinasi-1), 7.5 (kombinasi-2), 5.02 (kombinasi-3), 4.9 (kombinasi-4), 5.7 (kombinasi-5) sedangkan angka keamanan pada arah y 643.1 (kombinasi-2), 720.2 (kombinasi-3), 720.2 (kombinasi-4), 152.9 (kombinasi-5). pembebanan), 152.9 (kombinasi 5 pembebanan).
3. Kapasitas daya dukung pondasi abutmen pada Jembatan Kaligawe Kota Semarang menggunakan metode permodelan *Software*

Plaxis 2D lebih besar dibandingkan beban yang diampu oleh jembatan, dengan angka keamanan sebesar $39.9 > 2$ sehingga pondasi tersebut dikatakan aman.

a. Saran

Saran sangat diperlukan sebagai masukan dalam suatu penelitian, tanpa terkecuali penelitian ini. Nantinya diharapkan bahwa saran tersebut dapat membantu dalam penelitian selanjutnya dengan tema yang sama, adapun masukan – masukan tersebut sebagai berikut,

1. Perlu dilakukan analisis kapasitas daya dukung dengan metode metode empiris lainnya, agar nantinya didapatkan hasil analisis yang bervariasi pula.
2. Perlu dilakukannya analisa yang sama namun dengan program – program komputer yang berbeda, misalnya Geo5, L – Pile, Plaxis 3D, Geo Studio, Slope W dan masih banyak lagi aplikasi lainnya.
3. Sebelum melakukan penelitian dan analisis menggunakan sebuah program komputer, sebaiknya program komputer tersebut dipahami dan dipelajari terlebih dahulu agar lebih mudah dalam mengaplikasikannya.
4. Dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan memperhitungkan pembebanan jembatan yang lebih spesifik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afdhau, M. Y. (2019). Perbandingan Daya Dukung Ultimit Tiang Pancang Secara Teoritis Pada Abutmen Hasil Calendering. *Jurnal Poros Teknik*, 11(2), 39–46.
- Arfandie, B. (2011). *Evaluasi Kapasitas Daya Dukung dan Potensi Penurunan Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Akibat Gerusan (Studi Kasus Jembatan Tol Solo-Kertosono)*.
- Aulia, R., & Supardin, G. (2017). *Kajian*

- kemampuan daya dukung pondasi tiang pancang pada abutment jembatan berdasar bedah buku bowles.*
- Fauzih, R. A., Najib, N., & Santi, N. (2019). Analisis Daya Dukung Bored Pile Pada Pembangunan Pondasi Jembatan Kali Kenteng dan Kali Serang Segmen Susukan di Ruas Jalan Tol Salatiga-Kartasura, PT. Waskita Karya (Persero), Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 2(2), 87. <https://doi.org/10.14710/jgt.2.2.2019.87-97>
- Harsanto, C., Manoppo, F., & Sumampouw, J. (2015). Analisis Daya Dukung Tiang Bor (Bored Pile) Pada Struktur Pylon Jembatan Soekarno Dengan Plaxis 3D. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 5(2), 99824.
- Hermanto, J., Sary Shandy, & Said, M. (2018). Metode Hitungan Kapasitas Dukung Ultimate Pondasi Dengan Menggunakan Data Uji CPT. *Jurnal Dintek*, 11(2), 54–62.
- Juddin. (2019). *Evaluasi Daya dukung Tiang Pancang Abutment Jembatan Girder Kelas A pada Proyek Pembangunan Jembatan Perniagaan Kota Samarinda*1–13.
- Legrans, R. R. I., & Imbar, S. (2011). *TINJAUAN DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG PADA TANAH BERLAPIS BERDASARKAN HASIL UJI PENETRASI STANDAR (SPT) (Studi Kasus Lokasi Pembangunan Jembatan Lahar Naha)*. 28–33.
- Onding, J., Balamba, L. S., Sompie, O. B. A., & Sarajar, A. N. (2013). Analisis Kestabilan Pondasi Jembatan Studi Kasus: Jembatan Essang-Lalue. *Jurnal Sipil Statik*, 1(11), 730–744.
- Nasional, B. S. (2005). *Standar Pembebanan untuk Jembatan (RSNIT-02-2005)*. Bandung: Badan Standar Nasional.
- Ramadhani, A. (2019). *Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Kaison pada Abutment Bagian Bentang 20 M Jembatan Lemah Abang*. 2(1), 41–49.
- Sinaga, & Iskandar. (2016). Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Perhitungan Analitis dan Metode Elemen Hingga pada Proyek Tol Medan Kualamu. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Supriadi, B., & Muntohar, A. (2007). *Jembatan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Tobing, D. L. (2019). *Analisis Daya Dukung Pondasi Bore Pile pada Proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartmen Medan*. 1–79.
- WIDOJOKO, L. (2020). Analisa Dan Desain Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Bentuk Tiang Lilies. *Warta LPM*, 23(1). <https://doi.org/10.23917/warta.v23i1.10202>