

ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI *SPUN PILE* BERDASARKAN HASIL SPT DAN HASIL KALENDERING PADA PEMBANGUNAN JALAN TOL KATARAJA ZONE 1

Bermando Mangatur Siagian^{1*}, Irvan Tri Nugroho²
Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana, Indonesia
[*mangaturbermando@unkris.ac.id](mailto:mangaturbermando@unkris.ac.id)

Abstrak

Pembangunan konstruksi jalan tol kataraja menjadi salah satu program pemerintahan yang sedang dilaksanakan guna mengimbangi pergerakan masyarakat dengan berkendara. Tujuan penelitian ini menganalisa serta membandingkan hasil perhitungan daya dukung dan penurunan (*Settlement*) pondasi. Pondasi merupakan bagian struktur bangunan yang paling bawah yang memiliki peran memindahkan beban bangunan ke tanah atau batuan di bawah yang mendasarinya. Kedalaman tanah keras yang menjadi tumpuan mencapai 30 meter, maka memakai pondasi tiang pancang (*Spun Pile*). Analisis daya dukung tiang pancang dan penurunan perlu diperhatikan untuk memperoleh perencanaan pondasi yang sesuai dan memenuhi persyaratan. Terdapat beberapa metode perhitungan dalam menganalisis daya dukung dan penurunan pondasi, namun perlu adanya pertimbangan metode mana yang relevan. Metode yang digunakan dalam Analisis daya dukung pondasi tiang berdasarkan hasil SPT adalah *Mayerhof*, hasil yang diperoleh adalah sebesar (Q_u) 633,92 kN dan hasil kalendering menggunakan metode *Hilley* adalah sebesar (R) 1654,415 kN. Perhitungan efisiensi kelompok tiang menggunakan metode *Coverese-Labbare Formula* diperoleh hasil adalah (E_g) 0,574. Analisis perhitungan penurunan tiang tunggal secara manual dengan metode *Vesic* diperoleh hasil sebesar (S) 2,62 cm dengan penurunan izin adalah sebesar (S_{izin}) 6 cm, sehingga syarat penurunan tiang tunggal terpenuhi (AMAN). Analisis penurunan tiang kelompok secara manual dengan metode *Vesic* diperoleh hasil sebesar (S_g) 5,34 cm dan dengan Aplikasi *Plaxis 3D* adalah sebesar 6,71 cm dengan penurunan izin mengacu pada (BSN SNI 8460, 2017) sebesar < 15 cm, sehingga syarat pada penurunan tiang kelompok terpenuhi (AMAN).

Kata kunci: Tiang Pancang, Daya Dukung Pondasi, Penurunan

Abstract

The construction of the Kataraja toll road is one of the government programs that are currently being implemented to balance the movement of people by driving. The purpose of this study is to analyze and compare the results of the calculation of the bearing capacity and settlement of the foundation. The foundation is the lowest part of the building structure which has the role of transferring the building load to the underlying soil or rock. The depth of the hard soil that becomes the foundation reaches 30 meters, so use a spun pile foundation. Analysis of pile bearing capacity and settlement needs to be considered to obtain an appropriate foundation plan and meet the requirements. There are several calculation methods in analyzing the bearing capacity and settlement of the foundation, but it is necessary to consider which method is relevant. The method used in the analysis of the bearing capacity of the pile foundation based on the SPT results is Mayerhof, the results obtained are (Q_u) 633.92 kN and the calendering results using the Hilley method are (R) 1654.415 kN. Calculation of the efficiency of the pile group using the Coverese-Labbare Formula method, the result is (E_g) 0.574. Analysis of calculating the settlement of a single pile manually using the Vesic method obtained a result of (S) 2.62 cm with a reduction in permits of (S_{izin}) 6 cm so that the single pile settlement requirements are met (SAFE). Analysis of group pile settlement manually with the Vesic method obtained results of (S_g) 5.34 cm and with the Plaxis 3D Application it was 6.71 cm with a decrease in permits

referring to (BSN SNI 8460, 2017) of <15 cm, so the requirements on group pile settlement are met (SAFE).

Keywords: *Pile Foundations, Pile Bearing Capacity, Settlement*

1 PENDAHULUAN

Pembangunan konstruksi jalan tol kataraja menjadi salah satu program pemerintahan yang sedang terus dilaksanakan guna mengimbangi pergerakan masyarakat dengan berkendara. Tujuan penelitian ini menganalisa serta membandingkan hasil perhitungan daya dukung dan penurunan (*Settlement*) pondasi.

Pondasi ialah bagian struktur bangunan dari konstruksi sipil yang memiliki peranan sangat penting karena berfungsi untuk meneruskan beban ke lapisan tanah dibawahnya. Apabila tanah tidak mampu memikul beban pondasi, maka penurunan yang berlebih atau keruntuhan tanah akan terjadi, hal tersebut akan memberikan dampak kerusakan konstruksi yang berada di atas pondasi serta pondasi tersebut. Dalam hal ini pengujian tanah pada suatu proyek konstruksi salah satu indikator dalam menentukan jenis pondasi yang dibutuhkan. Dari hasil pengujian tanah diperoleh jenis tanah lempung. Tanah lempung pada dasarnya memiliki sifat plastis yang tinggi, kadar air yang besar namun sulit menyerap air serta sifat kembang susut yang besar. Dengan begitu pada jenis tanah lempung ini dipilih pondasi tiang pancang (*Spun Pile*).

Perencanaan pondasi *Spun Pile* meliputi kegiatan yang dilaksanakan dengan beragam tahapan berupa studi kelayakan dan perencanaan teknis. Hal tersebut dilakukan sebagai upaya menjamin hasil akhir pembangunan konstruksi yang kuat, dan aman.

Analisis daya dukung dan penurunan pondasi menjadi aspek utama dalam perencanaan struktur bangunan untuk itu ada beberapa metode yang bisa digunakan dalam penentuan daya dukung pondasi yaitu dengan metode *Mayerhof* dan *Hilley*, serta metode *Vesic* dan menggunakan Program Aplikasi *Plaxis 3D*, sehingga penulis mengkaji “Analisis Daya Dukung Pondasi *Spun Pile* Berdasarkan Hasil SPT dan Hasil Kalendering Pada Pembangunan Jalan Tol Kataraja Zone 1”

2. METODE PENELITIAN

2.1 Uraian Umum

Analisis suatu penelitian dibutuhkan tahapan dan metodologi yang konkrit dan sistematis guna dapat mencapai tujuan berupa hasil yang diinginkan. Data yang didapatkan akan diolah untuk mendukung suatu penelitian, sehingga dari data tersebut dapat dianalisis dan diatasi permasalahannya. Metode yang diterapkan pada penelitian ini termasuk dalam kategori studi kasus.

2.2 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian ini terletak Provinsi DKI Jakarta dan Provinsi Banten yang merupakan jalan tol lingkar utara, ruas jalan tol dimulai dari cikupa, Rajeg dan Mauk yang akan terkoneksi dengan jalan tol Sedyatmo dan dapat dilihat pada gambar, sebagai berikut:



Sumber: PT. Waskita Karya (Persero) Tbk

Gambar 2. 1 Lokasi Penelitian

2.3 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data merupakan salah satu faktor penting yang menunjang keberhasilan dari sebuah penelitian. Metode pengumpulan data itu sendiri merupakan sebuah cara yang dilakukan untuk mengumpulkan data dan informasi yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Metode pengumpulan data ini biasanya berkaitan dengan bagaimana mengumpulkan data, alat yang dipakai dalam mengumpulkan data, dan sumber yang dikutip. Berikut adalah metode yang dilakukan peneliti dalam mengumpulkan data, antara lain:

1. Studi Literatur
 Studi literatur dilakukan dengan cara membaca dari beberapa sumber meliputi jurnal, buku, serta penelitian yang relevan dengan pembahasan.
2. Peninjauan Langsung
 Peninjauan langsung bertujuan menentukan lokasi ataupun titik pengambilan data yang dimiliki oleh pihak konsultan perencana maupun kontraktor.

2.4 Jenis Data

2.4.1 Data Umum Proyek

Data umum adalah data yang diperoleh dari hasil peninjauan dan pengamatan langsung serta wawancara dengan instansi terkait dilokasi pembangunan, diperoleh data sebagai berikut :

- | | |
|-----------------------|--|
| 1. Nama Proyek | : Pembangunan Konstruksi Jalan Tol KATARAJA Seksi 1 STA. 0+000 SD STA. 6+700 |
| 2. Lokasi Proyek | : Jakarta Utara – Banten |
| 3. Pengguna Jasa | : PT. Duta Graha Karya |
| 4. Penyedia Jasa | : PT. Waskita Karya (Persero) Tbk |
| 5. Pengawas Pekerjaan | : PT. Mega Trustlink |
| 6. Janis Kontrak | : Gabungan Lump Sum dan Unit Price (Tiang Pancang) |
| 7. Lingkup Pekerjaan | : 1 Junction, 1 Interchange, 2 Jembatan, 4 Unit Gerbang Tol. |

2.4.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari pihak lain atau instansi terkait, dengan kata lain menggunakan data yang telah ada. Data berupa informasi tertulis atau bentuk dokumen lainnya yang berhubungan dengan rencana proyek.

Data yang dipakai dalam penelitian adalah data sekunder yang didapatkan dari PT Waskita Karya (Persero) Tbk yang meliputi:

1. Lokasi Penelitian
2. Data Teknis *Spun Pile*
3. Denah Pile Cap dan Titik Koordinat Pancang R3 P4
4. Data hasil pengujian di lapangan *Standard Penetration Test* (SPT)
5. Data hasil kalendering

2.5 Rencana Analisis Data

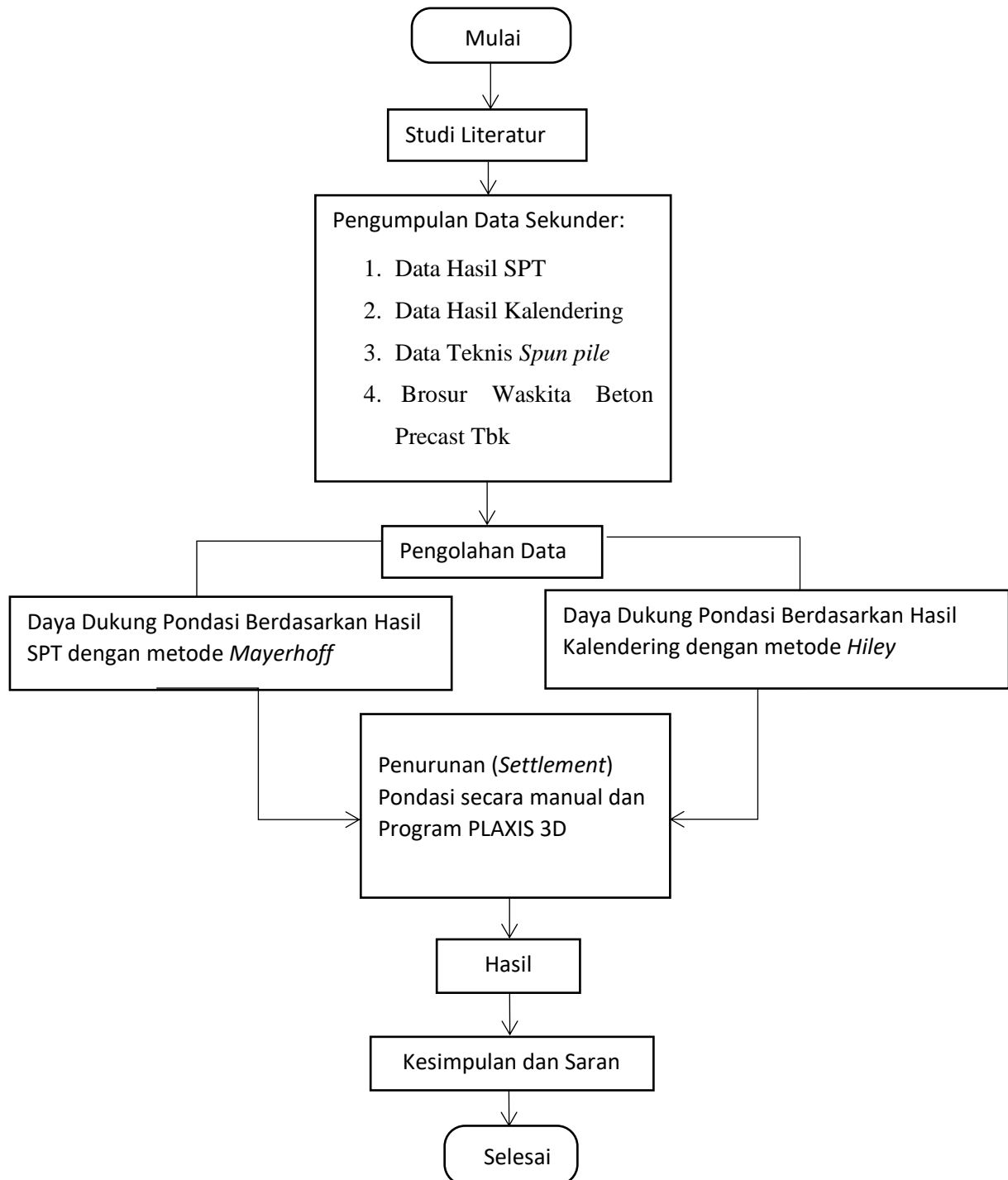
Rencana analisis yang akan digunakan peneliti dalam Tugas Akhir ini adalah membuat perhitungan daya dukung pondasi *Spun pile* berdasarkan hasil SPT dengan metode *Mayerhoff* dan hasil Kalendering dengan metode *Hiley*, menghitung penurunan (*settlement*) pondasi *Spun pile* dengan menggunakan aplikasi Plaxis 3D yang ditunjang dengan literatur yang diperoleh.

2.6 Tahap Penelitian

Pembuatan proses urutan analisis pembahasan yang akan dibahas adalah Mulai dari Studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data. Pembahasan awal mengenai daya dukung pondasi berdasarkan hasil SPT dan Kalendering, penurunan pondasi *Spun pile* dengan menggunakan Aplikasi Plaxis 3D berdasarkan hasil SPT dan data terangkum dalam suatu diagram kerja yang disebut Diagram Alur. Diagram alur penelitian dapat dilihat sebagai berikut:

2.7 Diagram Alur

Berikut ini adalah diagram alur penelitian yang dilakukan pada analisis daya dukung dan penurunan pondasi.



Gambar 3. 1 Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uraian Umum

Berdasarkan studi kasus pada Proyek Pembangunan Kontruksi Jalan Tol Kataraja Seksi 1 Sta 0+000 – 6+700 penelitian dilakukan dengan menganalisis daya dukung pondasi spun pile berdasarkan hasil SPT dengan metode *Mayerhof* dan berdasarkan hasil Kalendering dengan metode *Hiley* serta penurunan (*Settlement*) perhitungan secara manual dan menggunakan Program *Plaxis 3D*.

3.2 Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi *Spun Pile* Berdasarkan Hasil SPT

Perhitungan kapasitas daya dukung pondasi *spun pile* dari hasil SPT kedalaman 30 m dilakukan dengan menggunakan metode *mayerhof*, dengan persamaan 2.2 variabel yang akan dihitung adalah:

- A. Daya dukung ujung tiang (Q_p)
- B. Daya dukung selimut tiang (Q_s)
- C. Daya dukung ultimit (Q_u)
- D. Daya dukung izin tiang (Q_a)

Data tiang *spun pile* yang digunakan, sebagai berikut:

1. Diameter Tiang *Spun Pile* (\emptyset) = 60 cm = 0,6 m
2. Keliling Tiang *Spun Pile* (K) = $\pi \times D = 3,14 \times 0,6$
= 1,884 m
3. Luas Penampang Tiang *Spun Pile* (A_p) = $\pi \times r^2 = 3,14 \times 0,3^2$
= 0,2826 = 0,283m²

Perhitungan kapasitas daya dukung ultimate terhadap ujung tiang, sebagai berikut:

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p$$

Keterangan :

Q_p : Daya dukung ujung tiang (kN/m²)

C_u : *Cohesi undrained* (kN/m²)

A_p : Luas penampang (m²)

A. Perhitungan nilai *cohesi undrained* (C_u)

$$\begin{aligned} C_u &= \left(N - SPT \times \frac{2}{3} \times 10 \right) \\ &= \left(14 \times \frac{2}{3} \times 10 \right) \\ &= 93,333 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

B. Daya dukung ujung tiang (Q_p)

$$\begin{aligned} Q_p &= 9 \times C_u \times A_p \\ &= 9 \times 93,333 \times 0,283 \\ &= 237,72 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

C. Daya dukung selimut tiang (Q_s)

$$\begin{aligned} Q_s &= a \times C_u \times A_p \times L_i \\ &= 0,5 \times 93,333 \times 0,283 \times 30 \\ &= 396,2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Keterangan :

C_u = *Cohesi undrained* (kN/m²)

a = Faktor adhesi

L_i = Tebal lapis tanah pada kedalaman 30 m

D. Daya dukung ultimit (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 237,72 + 396,2$$

$$= 633,92 \text{ kN/m}^2 = 64,642 \text{ ton}$$

E. Daya dukung izin tiang (Qa)

$$Qa = \frac{Qu}{SF}$$

$$= \frac{633,92}{2,5}$$

$$= 253,572 \text{ kN}$$

Berdasarkan rekomendasi *Reese And O'Neill* Nilai Faktor keamanan (SF) = 2,5
 Jadi, kapasitas daya dukung ultimit adalah sebesar 633,92 kN/m² dan kapasitas daya dukung izin adalah sebesar 253,572 kN atau dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Hasil Perhitungan Daya Dukung Metode *Mayerhof*

Depth	Jenis Tanah	N-SPT	Cohesi Undrained (Cu) kN	Daya dukung ujung tiang Qp (kN)	Skin Friction (Qs) kN	Daya dukung ultimit Qu (kN)	Daya Dukung Izin Qa (kN)
30	Lempung kelanauan	14	93,333	273,72	396,2	633,92	253,572

3.3 Analisis Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi *Spun Pile* berdasarkan Hasil Kalendering

Perhitungan daya dukung pondasi berdasarkan hasil Kalendering pada tiang No 10 menggunakan metode *Hiley* dengan persamaan 2.3 sebagai berikut:

Perhitungan pada tiang No-10:

Panjang tiang = 30 m

Penetrasi kedalaman

Diameter tiang (D) = 60 cm = 0,6 m

Unit Weight D 60 cm = 0,393 ton

Berat hammer (W) = 0,5 x total berat pancang + 0,5 ton

= 0,5 x 30 x 0,393 + 0,5 = 6,5 ton

Berat tiang (P) = Panjang Tiang x Unit Weight

= 30 x 0,393

= 11,79 ton

Tinggi jatuh hammer(H) = 2,5 m

Koefisien restitusi(N) = 0,5

Rata-rata Rebound 10 pukulan terakhir(K) = 0,9 cm = 0,009 m

Penetrasi Tiang Pancang pada saat penumbukan terakhir(S) = 9,2 cm

= 0,092 m

Efisiensi hammer (ef) = 1,00

Safety Factor = 3

Maka:

Kapasitas daya dukung ultimit

$$R = \frac{2WH}{S+K} \times \frac{W+N^2P}{W+P}$$

$$R = \frac{2 \times 6,5 \times 2,5}{0,092+0,009} \times \frac{6,5+0,5^2 \times 11,79}{6,5+11,79}$$

$$R = 166,039 \text{ ton} = 1654,415 \text{ kN}$$

Kapasitas daya dukung izin, sebagai berikut:

$$Ra = \frac{1}{SF} \text{ ef. } R$$

$$= \frac{1}{3} \times 1 \times 166,039$$

$$= 55,346 \text{ ton} = 551,471 \text{ kN}$$

Jadi, kapasitas daya dukung ultimit adalah sebesar 1654,415 kN dan kapasitas daya dukung izin adalah sebesar 551,471 kN atau dapat dilihat pada Tabel 4.2 hasil perhitungan daya dukung berdasarkan hasil kalendering dengan metode *Hiley*, Sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Hasil Perhitungan Daya Dukung Metode *Hiley*

No. Tiang	Depth (m)	Penetration (S) m	Berat hammer (W) ton	Tinggi jatuh hammer (H) ton	Berat tiang (P) ton	Rata-rata rebound (K)	Daya dukung ultimit (R) kN	Daya dukung izin (Ra) kN
10	25,5	0,092	6,5	2,5	11,79	0,009	1654,415	551,471

3.4 Analisis Efisiensi Tiang Kelompok

Nilai pengali terhadap kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal dengan memperhatikan pengaruh kelompok tiang diartikan sebagai efisiensi tiang (*Eg*). Persamaan didasarkan pada susunan tiang, jarak antara tiang dan diameter tiang. Beberapa data pendukung diperlukan dalam menghitung efisiensi tiang tersebut, sebagai berikut:

$$D = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$$

$$M = 5$$

$$n' = 25$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{0,6}{1,5} \right)$$

$$= 17,970'$$

$$Eg = 1 - \theta \frac{(n'-1)m+(m-1)n'}{90 \times m \times n'}$$

$$= 1 - \arctan \frac{0,6}{1,5} \times \frac{(25-1)5+(5-1)25}{90 \times 5 \times 25}$$

$$= 0,574 \approx 57,4\%$$

Kapasitas ultimit kelompok tiang:

$$Qg = Eg \times n \times Qu$$

$$= 0,574 \times 5 \times 633,92$$

$$Qg = 1819,3 \text{ kN/m}^2$$

Jadi, kapasitas ultimit kelompok tiang yang diperoleh adalah sebesar 1819,3kN/m².

Kapasitas izin tiang kelompok:

$$Q_{izin} = E_g \times n \times Q_a \\ = 0,574 \times 5 \times 253,572$$

$$Q_{izin} = 727,751 \text{ kN/m}^2$$

Maka, hasil perhitungan kapasitas izin kelompok tiang diperoleh adalah sebesar 727,751 kN/m². Berikut Tabel 3.3 Hasil perhitungan kapsitas ultimit tiang kelompok dan Tabel 3.4 izin tiang kelompok.

Tabel 3. 3 Hasil Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Ultimit Tiang

Hasil Analisis Kapasitas Daya Dukung Ultimit Tiang Tunggal dan Kolompok				
Metode	Efisiensi tiang	Jumlah tiang	Qu (kN/m ²)	Qg (kN/m ²)
<i>Mayerhof</i>	0,574	25	633,92	1819,3

Tabel 3. 4 Hasil Perhitungan Kapasitas Izin Tiang Tunggal dan Kelompok

Hasil Analisis Kapasitas Izin Tiang Tunggal dan Kelompok				
Metode	Efisiensi tiang	Jumlah tiang	Qa (kN/m ²)	Qizin (kN/m ²)
<i>Mayerhof</i>	0,574	25	253,572	727,751

3.5 Analisis Penurunan Tiang Tunggal (*Single Pile*)

Menurut (Vesic, 1977), Penurunan elastis pondasi tunggal dapat dihitung dengan persamaan, sebagai berikut:

$$L = 30 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$F_c' = 50 \text{ MPa}$$

$$A_p = 1,884 \text{ m}$$

$$Q_p = 237,72 \text{ kN}$$

$$Q_s = 396,2 \text{ kN}$$

$$\epsilon_t = 0,5 \text{ (skin friction)}$$

$$A_s = \pi \times D \times L \\ = 3,14 \times 0,6 \times 30 \\ = 56,52 \text{ m}^2$$

$$E_s = 300 \text{ kg/cm}^2 = 30000 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s^2 = 0,3 \text{ (passion ratio)}$$

Keterangan:

D : Diameter *Spun Pile*

L : Panjang Tiang

A. Penurunan tiang tunggal (*single pile*)

Untuk penurunan elastis tiang total digunakan persamaan, sebagai berikut:

$$S_{total} = S_1 + S_2 + S_3$$

a. Menentukan modulus elatisitas

$$\begin{aligned} E_p &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \sqrt{50} \\ &= 33234,019 \text{ MPa} \\ &= 33234019 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

b. Penurunan S1 Untuk nilai *factor empiric* (El) = 0,5

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{(Q_p + E_L \times Q_s)L}{A_p \times E_p} \\ &= \frac{(273,72 + 0,5 \times 396,2)30}{0,283 \times 33234019} \\ &= 0,00015 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Penurunan S2 Nilai Koefisien Empiris (Cp) = 0,03

$$\begin{aligned} C_p &= 0,03 \\ q_p &= \frac{Q_p}{A_p} \\ &= \frac{305,64}{0,283} = 1080 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{Q_p \times C_p}{D \times q_p} \\ &= \frac{273,72 \times 0,03}{0,6 \times 1080} \\ &= 0,01265 \text{ m} \end{aligned}$$

d. Penurunan S3

$$\begin{aligned} S_3 &= \frac{Q_s}{A_s} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) I_{ws} \\ S_3 &= \frac{396,2}{56,52} \times \frac{0,6}{30000} \times (1 - 0,3^2) 2 + 0,35 \sqrt{\frac{30}{0,6}} \\ &= 0,0134 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= S_1 + S_2 + S_3 \\ &= 0,00015 + 0,01265 + 0,0134 \\ &= 0,0262 \text{ m} = 2,62 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{izin} &= 10\% \times D \\ &= 10\% \times 0,6 \\ &= 0,06 \text{ m} = 6 \text{ cm} \end{aligned}$$

Jadi, penurunan total tiang tunggal lebih kecil dari syarat yang diizinkan yaitu $2,62 \text{ cm} < 6 \text{ cm}$, Sehingga syarat tersebut terpenuhi.

Keterangan:

Qp : Daya Dukung Ujung Tiang

Qs : Daya Dukung Selimut Tiang

EL : Koefisien dari *Skin Friction*

L : Panjang Tiang Pancang (m)

Ap : Luas Penampang Tiang (m)

qp : Tahanan Ujung Batas Tiang (kg/cm²)

Cp : Koefisien Empiris

D : Diameter Tiang (m)
 Es : Modulus Young (kN/m²)
 μ_s : *Poisson Ratio*

3.6 Analisis Penurunan Tiang Kelompok (*Pile Group*)

Menurut (Vesic, 1977), Penurunan tiang kelompok dapat dihitung dengan persamaan, sebagai berikut:

$$S = 0,0163649 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$Bg = 1,5 \text{ m}$$

$$S_g = S \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

$$= 0,0262 \sqrt{\frac{1,5}{0,6}}$$

$$= 0,0534 \text{ m} = 5,34 \text{ cm}$$

Jadi, penurunan tiang kelompok adalah sebesar 5,34 cm.

Keterangan:

S_g = Penurunan tiang kelompok group

S = Penurunan pondasi tiang tunggal

Bg = Lebar kelompok tiang

D = Diameter tiang

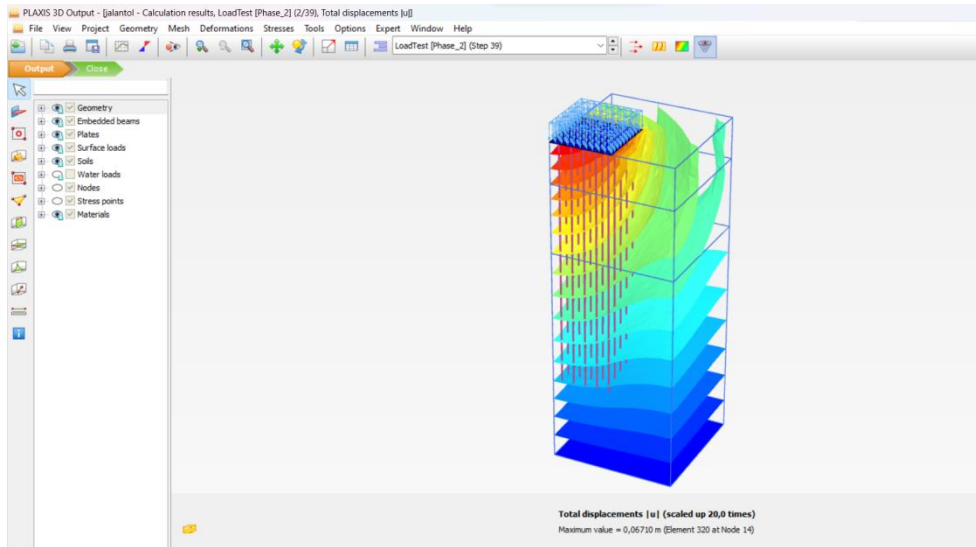
Berdasarkan analisis penurunan pondasi secara manual dengan metode *Vesic* pada tiang tunggal nilai yang diperoleh adalah sebesar 2,62 cm dan tiang kelompok adalah sebesar 5,34 cm. Berikut dapat dilihat pada Tabel 3.5 Hasil analisis penurunan secara manual.

Tabel 3. 5 Hasil Analisis Penurunan Secara Manual

Hasil Analisis Penurunan (<i>Settlement</i>)	
Metode <i>Vesic</i>	
Tunggal (cm)	Kelompok (cm)
2,62	5,34

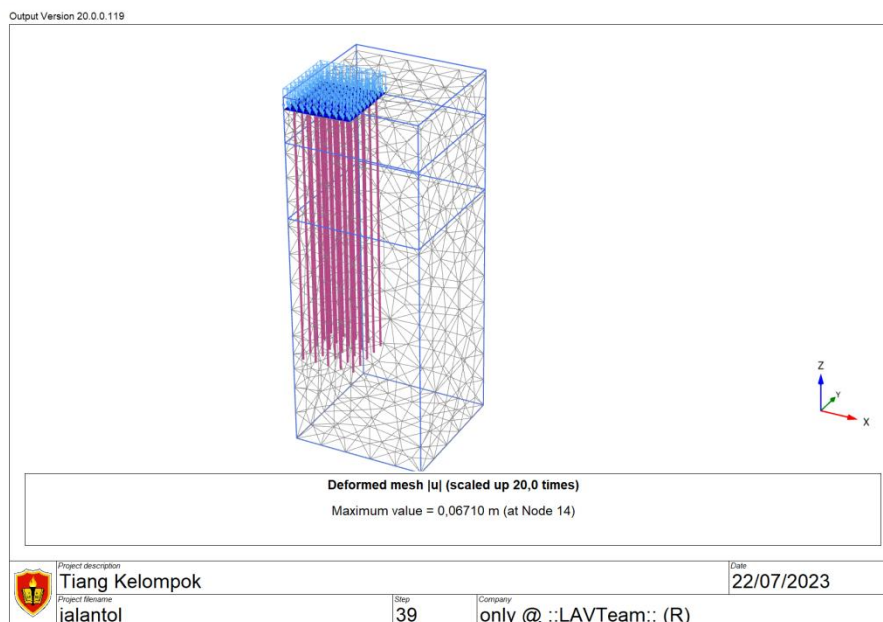
3.7 Analisis Penurunan Tiang Kelompok dengan Program Plaxis 3D

Pemodelan menggunakan program plaxis 3D dalam menghitung penurunan tiang kelompok. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan peneliti menggunakan aplikasi *Plaxis 3D*, maka dapat diketahui hasil perhitungan yang telah dilakukan oleh PLAXIS 3D. Maka berdasarkan hasil perhitungan, besar penurunan yang terjadi adalah 0,06710 m = 6,71 cm atau dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut:



Sumber: Aplikasi PLAXIS 3D

Gambar 3. 2 Total Displacements



Sumber: Aplikasi PLAXIS 3D

Gambar 3. 3 Total Displacements

3.8 Rekapitulasi Hasil Analisis Daya Dukung Pondasi

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan penulis, diperoleh nilai daya dukung pondasi sebagai berikut:

Tabel 3. 6 Rekapitulasi Hasil Analisis Daya Dukung Pondasi

Hasil Analisis Perhitungan Daya Dukung Pondasi		
Metode <i>Mayerhof</i> (kN)	Metode <i>Hilley</i> (kN)	<i>Product Catalogue</i> PT Waskita Beton Precast Tbk (kN)
633, 92	1654,415	2441,86

Hasil analisis daya dukung pondasi *Spun Pile* berdasarkan hasil SPT dengan metode *Mayerhof* nilai yang diperoleh adalah sebesar 633,92 kN. Hasil Kalendering dengan metode *Hilley* nilai yang diperoleh adalah sebesar 1654,415 kN dan *Product Catalogue* PT. Waskita Beton Precast Tbk 2441,86 kN. Maka, hasil 2 metode yang dilakukan dalam analisis daya dukung pondasi secara manual terpenuhi karena tidak melampaui nilai pada brosur *Proudct Catalogue* PT Waskita Beton Precast Tbk.

3.9 Rekapitulasi Hasil Penurunan (*Settlement*) Tiang Kelompok

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan penulis, diperoleh nilai penurunan pondasi sebagai berikut:

Tabel 3. 7 Rekapitulasi Hasil Analisis Penurunan (*Settlement*) Tiang Kelompok

Penurunan (<i>Settlement</i>) Tiang Kelompok	
Cm	
Metode	
Manual (<i>Vesic</i>)	Plaxis 3D
5,34	6,71

Hasil analisis secara manual dengan metode *Vesic* diperoleh nilai penurunan tiang kelompok sebesar 5,34 cm, sedangkan berdasarkan hasil analisis Aplikasi *Plaxis* 3D diperoleh nilai penurunan sebesar 6,71 cm. Berdasarkan penurunan izin yang mengacu pada (BSN SNI 8460, 2017) Persyaratan perencanaan geoteknik, penurunan izin adalah < 15 cm. Maka, berdasarkan hasil analisis penurunan (*settlement*) yang terjadi dikatakan AMAN.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisis kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_p) tiang *spun pile* dengan metode *Mayerhof* berdasarkan data borlog (SPT) adalah sebesar 237,72 kN/m² dan (Q_u) adalah sebesar 633,92 kN/m², dengan faktor keamanan 2,5 dan kapasitas daya dukung izin (Q_a) adalah sebesar 253,572 kN/m².
2. Hasil analisis kapasitas daya dukung ultimit (R) tiang *spun pile* dengan metode *Hiley* berdasarkan hasil kalendering adalah sebesar 1654,415 kN, dengan faktor keamanan 2,5 dan kapasitas daya dukung izin (R_a) adalah sebesar 551,471 kN.
3. Berdasarkan hasil analisis efisiensi tiang kelompok dengan metode *Coverse-Labbare Formula* adalah (E_g) 0,574. Analisis penurunan (*settlement*) tiang tunggal (*single pile*) secara manual dengan metode *Vesic* nilai (S) adalah sebesar 2,62 cm dan nilai (S_{izin}) adalah sebesar 6 cm. Maka, penurunan total tiang tunggal lebih kecil dari syarat yang diizinkan yaitu 2,62 cm < 6 cm, Sehingga syarat tersebut terpenuhi. Berdasarkan hasil analisis penurunan kelompok tiang (*group pile*) secara manual dengan metode *Vesic* nilai (S_g) adalah sebesar 5,34 cm sedangkan berdasarkan hasil perhitungan penurunan tiang kelompok dengan program *Plaxis 3D* adalah sebesar 6,71 cm dan nilai penurunan izin menurut (BSN SNI 8460, 2017)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Darwis. (2018). Dasar-Dasar Mekanika Tanah. Teknik Sipil2.
- [2] Hardiyatmo. (2002). Mekanika Tanah 2. Teknik Sipil.
- [3] Hardiyatmo. (2011). Analisis dan Perancangan Fondasi I Edisi Kedua.
- [4] Hardiyatmo. (2019). Mekanika Tanah 1. Teknik Sipil2.
- [5] Yusti, A., & Fahrani, F. (2014). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzer Test dan Capwap. Jurnal Fropil.
- [6] Syahrul. (2022). KORELASI KALENDERING DAN PILE DRIVING ANALYZER PADA DAYA DUKUNG SUBSTRUKTUR TIANG PANCANG JEMBATAN ENCAHAQ KUTAI BARAT. Civil Engineering.
- [7] Siregar, Y. H., Pribadi, E., & Aprianto. (2022). ANALISA DAYA DUKUNG TIANG PANCANG BERDASARKAN. Teknik Sipil.
- [8] Fadilla, R. N., & p, A. (2022). Analisis Daya Dukung Pondasi Spun Pile Dievaluasi Dengan Kalendering Dan PDA. Teknik Sipil.
- [9] Aprianti, Resti; Faisal, M Hanif; Aida, Nur. (2023). ANALISIS DAYA DUKUNG TANAH TERHADAP TIANG PANCANG. *Civil Engineering*, 1-6.
- [10] Maharani, I. A., & Oktavia, L. (2022). Analisa Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Hasil Standard Penetration Test (SPT) Pada Gedung Teknik Informatika Politeknik Negeri Cilacap. Teknik Sipil.
- [11] BSN SNI 8460. (2017). SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik. Civil Engineering.
- [12] Standardisasi Nasional Indonesia, B. (2008). SNI 4153:2008 Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT.