

ANALISIS DAYA DUKUNG KAWASAN PENDIDIKAN STT WASTU KENCANA (STUDI KASUS GEDUNG STT WASTUKENCANA)

Yonas Prima Arga Rumbyarso
Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana, Indonesia
primusindonesiaku@gmail.com

Abstrak

Dalam membangun suatu bangunan sarana publik, bangunan harus baik dari segi struktur, agar bangunan tersebut bisa tetap berfungsi dengan baik selama umur layannya. perencanaan struktur bangunan dikerjakan secara menyeluruh. Sistem kerja Pondasi ini berkaitan dengan kapasitas daya dukung tanah serta kapasitas dukung di ujung tiang maupun lekatan tanah yang berada di sekitar tiang pancang. Perhitungan daya dukung pada struktur tiang pancang dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yang disarankan para ahli. Selain perhitungan secara konvensional, penentuan kapasitas daya dukung juga dapat dilakukan dengan menggunakan suatu program bernama Plaxis. Berdasarkan Analisis yang dilakukan secara konvensional, didapat bahwa nilai kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal pada titik S-3 berdasarkan data sondir sebesar 35,16 Ton, daya dukung tiang pancang tunggal pada titik BH-1 berdasarkan data boring log sebesar 20,36 Ton, nilai efisiensi kelompok tiang sebesar 0,7526. serta nilai daya dukung Tiang Pancang kelompok sebesar 264,64 Ton. Sedangkan Berdasarkan Analisis yang dilakukan secara permodelan menggunakan metode konvensional, didapat bahwa penurunan (settlement) tiang pancang kelompok sebesar 1,01 cm / 10,10 mm. sedangkan nilai penurunan (settlement) tiang pancang kelompok dengan menggunakan pemodelan aplikasi Plaxis sebesar 1,071 cm / 10,71 mm.

Kata kunci: Pondasi tiang pancang, daya dukung pondasi, penurunan pondasi, konvensional, plaxis

Abstract

When building a public facility, the building must be good in terms of structure, so the building can continue to function properly during its service life. Planning of the building structure must be done thoroughly. The working system of this foundation is related to the carrying capacity of the soil and the bearing capacity at the ends of the piles and the soil attachment around the piles. The calculation of the bearing capacity of the pile structure can be done using several methods suggested by experts. In addition to using conventional calculations, the determination of the bearing capacity also can be done using a program called Plaxis. Based on the conventional analysis, it was found that the value of the bearing capacity of the single pile at point S-3 based on SPT Test was 35.16 tons, the value of the bearing capacity of the single pile at point BH-1 based on Boring Log data was 20,36 tons, the pile group efficiency value was 0,7526. and the value of the group pile bearing capacity was 264,64 tons. Meanwhile, based on the analysis carried out by konventional methods, it was found that the settlement value for group piles was 1,01 cm / 10,10 mm. while the settlement value of group piles using Plaxis application modeling is 1,0710 cm / 10,71 mm.

Keywords: Pile foundation, bearing capacity, foundation settlement, conventional, plaxis

I. PENDAHULUAN

Dalam membangun suatu bangunan sarana publik, bukan hanya sekedar peralatan dan alat kesehatannya yang harus bagus, namun bangunannya juga harus baik dari segi struktur, agar bangunan tersebut bisa tetap berfungsi dengan baik selama umurnya. Dalam perancangan struktur suatu bangunan, keamanan dan keselamatan merupakan faktor utama. Perencanaan struktur bangunan dikerjakan secara menyeluruh, termasuk struktur bawah atau pondasi yang menjadi pijakan bangunan itu sendiri. Ada beberapa hal yang harus diperhitungkan dalam perencanaan pondasi antara lain berat pondasi itu sendiri dan beban serta gaya yang bekerja pada bangunan. Selain itu, hasil akhir perencanaan pondasi tidak boleh terjadi penurunan melebihi batas yang ditentukan. Jenis tiang pancang pun saat ini sudah melalui berbagai proses pengembangan seiring teknologi beton bertulang mengalami perkembangan yang lumayan pesat. Perhitungan daya dukung pada struktur tiang pancang dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yang disarankan para ahli, seperti data penyelidikan tanah, data PDA, serta data Kalendering. Berdasarkan data tersebut dapat dilakukan perhitungan sehingga dapat diperoleh informasi mengenai perencanaan pondasi yang aman. Selain perhitungan secara konvensional, penentuan kapasitas daya dukung juga dapat dilakukan dengan menggunakan suatu program bernama *Plaxis*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

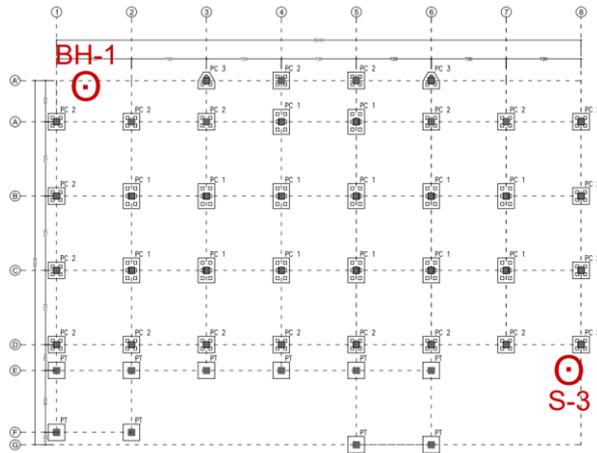
Pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*Upper Structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Sedangkan Pondasi tiang pancang beton pracetak merupakan jenis tiang pancang yang dibentuk di tempat pencoran sentral sesuai dengan panjang tiang pancang yang sudah ditentukan, diobati, dan kemudian dikirimkan ke tempat konstruksi. Beban bangunan adalah semua beban yang berasal dari berat bangunan yang bersifat tetap dan sementara. Struktur bangunan harus dapat menerima berbagai macam kondisi pembebanan yang mungkin terjadi. Pondasi harus memenuhi persyaratan dasar yaitu faktor keamanan terhadap keruntuhan geser dari tanah pendukung harus memadai, umumnya besarnya berkisar antara 2,5 sampai 3, lalu penurunan pondasi dapat terjadi dalam batas toleransi dan penurunan sebagian (*Differential Settlement*) tidak boleh menyebabkan kerusakan serius atau mempengaruhi fungsi struktur.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian atau metode ilmiah adalah prosedur atau langkah-langkah dalam mendapatkan pengetahuan ilmiah atau ilmu sehingga metode penelitian merupakan cara sistematis untuk menyusun ilmu pengetahuan. Metode penelitian dirancang melalui langkah-langkah penelitian dari mulai operasionalisasi variabel, penentuan jenis dan sumber data, metode pengumpulan data atau survei, model penelitian diakhiri dengan merancang analisis data dan pengujian hipotesis. Data pendukung yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder yang meliputi data Sondir, data *Boring Log*, data tes PDA, serta gambar kerja (*Shop Drawing*) denah dan detail pondasi tiang pancang. Penelitian ini dimulai dari pengumpulan data sekunder. Selanjutnya dari data tersebut, dilakukan perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal dan tiang pancang kelompok dengan menggunakan metode Meyerhof. Selanjutnya dilakukan perhitungan tingkat efisiensi tiang pancang kelompok dengan metode Converse-Labbare. Lalu selanjutnya dilakukan perhitungan penurunan (*Settlement*) tiang pancang kelompok dengan metode Poulos-Davis untuk kemudian dibandingkan perhitungan dengan menggunakan permodelan *software Plaxis 3D*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya dukung akan dihitung dengan menggunakan data Sondir pada titik S-3 dan data Boring Log pada titik BH-1. Untuk perhitungan efisiensi kelompok tiang pancang menggunakan data Sondir pada titik S-3. Sedangkan untuk perhitungan penurunan (settlement) kelompok tiang menggunakan data Sondir pada titik pancang As D-8 No. 167.



Gambar 4.1 Lokasi titik pengujian BH-1 dan S-3

1. Data Teknis Pondasi Tiang Pancang

Data Tiang Pancang:

$$\begin{aligned} \text{Keliling Penampang Pancang (As)} &= 4 \times 30 = 120 \text{ cm} \\ \text{Luas Penampang Tiang pancang (Ab)} &= 30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tahanan ujung kerucut statis (qc)} = 250 \text{ kg/cm}^2$$

2. Analisis dengan Data Sondir pada Titik S-3

Tabel 4.1 Data Sondir S-3

Kedalaman (meter)	READING		Jumlah Hambatan Lekat (kg/cm ²)
	Perlawanan Konus (kg/cm ²)	Rata-rata Konus (kg/cm ²)	
04.20	91	-	350,00
04.40	92	-	376,00
04.60	100	-	398,00
04.80	105	-	422,00
05.00	109	135,13	448,00
05.20	99	-	470,00
05.40	100	-	490,00
05.60	121	-	512,00
05.80	197	-	538,00
06.00	250	189,33	538,00

- a. Menghitung daya dukung ultimit tiang pancang (Qult)
Qult adalah kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal

$$Qult = \frac{(NK.A)}{3} + \frac{(JHL.O)}{5}$$

$$Qult = \frac{(250.900)}{3} + \frac{(538.120)}{5}$$

$$Qult = 75.000 + 12.912$$

$$Qult = 87.912 \text{ kg}$$

$$Qult = 87,91 \text{ Ton}$$

- b. Menghitung daya dukung ijin tiang pancang (Qijin)

$$Qijin = \frac{Qult}{fs}$$

$$Qijin = \frac{87,91}{2,5}$$

$$Qijin = 35,16 \text{ Ton}$$

Tabel 4.2 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang pada Titik S-3 dibandingkan dengan PDA

No.	Metode	Qult (Ton)	Qijin (Ton)	PDA (Ton)
1.	Mayerhof	87,91	35,16	90,20

3. Analisis dengan Data *Boring Log* pada Titik BH-1
Tabel 4.3 Data SPT *Boring Log* BH-1

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	SPT Value			
		I	II	III	N-SPT
0,0					
1,0					
2,0	Lempung Kelanauan Kecoklatan	9	16	8	24
3,0					
4,0		8	12	6	18
5,0					
6,0	Lempung Kelanauan Kecoklatan, bercampur butiran cadas	5	8	2	10

Q_{ult} adalah kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal. Perhitungan diambil dari titik BH-1 pada kedalaman 6,0 m, dengan Panjang sisi tiang pancang 30 cm.

Jenis Tanah = Lempung Kelanauan Kecoklatan

$$N_{SPT} = 18$$

$$N_1 = 8$$

$$N_2 = 12$$

$$N_b = \frac{(8 + 12)}{2} = 10$$

$$L_i = 2 \text{ m}$$

$$A_p = 0,3 \times 0,3 = 0,09 \text{ m}^2$$

$$P = 4 \times 0,3 = 1,2 \text{ m}$$

- a. Menghitung daya dukung pada ujung pondasi tiang pancang:

$$Q_p = 400 \times N_b \times A_p$$

$$Q_p = 400 \times 10 \times 0,09$$

$$Q_p = 360 \text{ kN}$$

$$Q_p = 36,71 \text{ Ton}$$

- b. Menghitung daya dukung pada selimut tiang pancang pada kedalaman 0 – 2 meter, dimana:

$$N_1 = 9$$

$$N_2 = 16$$

$$N_b = \frac{(9 + 16)}{2} = 12,5$$

$$Q_{s1} = 2 \times N_b \times P \times L_i$$

$$Q_{s1} = 2 \times 12,5 \times 1,2 \times 2$$

$$Q_{s1} = 60 \text{ kN}$$

$$Q_{s1} = 6,12 \text{ Ton}$$

- c. Menghitung daya dukung pada selimut tiang pancang pada kedalaman 2 – 4 meter, dimana:

$$N_1 = 8$$

$$N_2 = 12$$

$$N_b = \frac{(8 + 12)}{2} = 10$$

$$Q_{s2} = 2 \times N_b \times P \times L_i$$

$$Q_{s2} = 2 \times 10 \times 1,2 \times 2$$

$$Q_{s2} = 48 \text{ kN}$$

$$Q_{s2} = 4,89 \text{ Ton}$$

- d. Menghitung daya dukung pada selimut tiang pancang pada kedalaman 4 – 6 meter, dimana:

$$N_1 = 5$$

$$N_2 = 8$$

$$N_b = \frac{(5+8)}{2} = 6,5$$

$$Q_{s3} = 2 \times N_b \times P \times L_i$$

$$Q_{s3} = 2 \times 6,5 \times 1,2 \times 2$$

$$Q_{s3} = 31,2 \text{ kN}$$

$$Q_{s3} = 3,18 \text{ Ton}$$

- e. Menghitung daya dukung ultimit pada tiang pancang

$$Q_{ult} = Q_p + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3}$$

$$Q_{ult} = 36,71 + 6,12 + 4,89 + 3,18$$

$$Q_{ult} = 50,90 \text{ Ton}$$

- f. Menghitung daya dukung ijin pada tiang pancang

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

$$Q_{all} = \frac{50,90}{2,5}$$

$$Q_{all} = 20,36 \text{ Ton}$$

4. Efisiensi Kelompok Tiang Metode Converse-Labarre

Efisiensi kelompok tiang pada titik Sondir S-3 dengan metode Converse-Labbare.

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n - 1) m + (m - 1) n}{90 m \cdot n}$$

Dimana:

E_g = Efisiensi kelompok tiang

θ = $\text{arc tan } d/s$ dalam derajat = $\text{arc tan } (0,3/0,75) = 22,27^\circ$

n = 2

m = 2

d = 0,3 m

s = 0,75 m

Sehingga:

$$E_g = 1 - 22,27^\circ \frac{(2 - 1) 2 + (2 - 1) 2}{90 \times 2 \times 2}$$

$$E_g = 1 - 22,27 \times \frac{4}{360}$$

$$E_g = 1 - 0,2474$$

$$E_g = 0,7526$$

$$E_g = 75,26\%$$

$$P = 152,75 \text{ ton}$$

$$Q_{ult} = 87,91 \text{ ton}$$

$$N_{min} = \frac{P}{Q_{ult}}$$

$$N_{min} = \frac{152,75}{87,91} = 1,73 \approx 2 \text{ unit tiang pancang}$$

5. Daya Dukung Kelompok Tiang Pancang

Daya dukung kelompok tiang pada titik Sondir S-3 dengan hasil metode Mayerhof :

$$Q_{ug} = Q_{ult} \times n \times E_g$$

dimana:

$$Q_{ug} = \text{Kapasitas ultimit kelompok tiang}$$

$$Q_{ult} = 87,91 \text{ Ton}$$

$$n = 4$$

$$E_g = 0,7526$$

$$Q_{ug} = 87,91 \times 4 \times 0,7526$$

$$Q_{ug} = 264,64 \text{ Ton}$$

Selanjutnya menghitung daya dukung ijin pada tiang pancang, dimana :

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

$$Q_{all} = \frac{264,64}{2,5}$$

$$Q_{all} = 105,86 \text{ Ton}$$

6. Penurunan Tiang Pancang Tunggal

Modulus elastisitas tanah disekitar tiang (E_s) :

$$E_s = 3 \cdot q_c$$

$$E_s = 3 \times 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_s = 750 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_s = 75 \text{ Mpa}$$

Modulus elastisitas di dasar tiang (E_b):

$$E_b = 10 \cdot E_s = 10 \cdot 75 \text{ Mpa} = 750 \text{ Mpa}$$

Menentukan modulus elastisitas dari bahan tiang (Dengan mutu beton K-300) maka:

$$K-300 = f_c' = 24,90 \text{ Mpa}$$

$$E_p = 4700 \cdot \sqrt{f_c'} = 4700 \cdot \sqrt{24,90} = 23.452,96 \text{ Mpa}$$

$$R_a = A_b / S \times S = 900/30 \times 30 = 1$$

Menentukan faktor kekakuan tiang:

$$K = (E_p \times R_a) / E_s$$

$$K = (23.452,96 \times 1) / 75 = 312,706$$

D_b adalah diameter tiang pancang ujung, d adalah diameter tiang pancang atas dan L adalah kedalaman tiang pancang dari muka tanah sampai tanah keras.

$$\text{Untuk } d_b/d = 30 / 30 = 1 \text{ sisi ujung dan atas sama}$$

$$\text{Untuk } L/d = 600 / 30 = 20$$

Dari masing-masing grafik didapat

$$I_o = 0,09 \text{ (untuk } L/d = 20 \text{ dan } d_b/b = 1)$$

$$R_k = 1,5 \text{ (untuk } L/d = 20 \text{ dan } K = 312,706)$$

$$R_b = 0,90 \text{ (untuk } L/d = 20, E_b/E_s = 10, \text{ dan } K = 312,706)$$

$$R_h = 0,30 \text{ (untuk } L/d = 20 \text{ dan } h/L = 1)$$

$$R_\mu = 0,84 \text{ (untuk } \mu_s = 0,35 \text{ dan } K = 312,706)$$

Tiang apung atau friksi

$$I = I_o \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_\mu$$

$$I = 0,09 \cdot 1,5 \cdot 0,30 \cdot 0,90 = 0,04$$

$$S = \frac{P \times I}{E_s \times S}$$

$$S = \frac{87910 \times 0,04}{750 \times 30}$$

$$S = \frac{3516,4}{22500}$$

$$S = 0,16 \text{ cm}$$

Tiang dukung ujung

$$\begin{aligned}
 I &= I_o \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_\mu \\
 I &= 0,09 \cdot 1,5 \cdot 0,84 \cdot 0,90 = 0,10 \\
 S &= \frac{Q \times I}{E_s \times S} \\
 S &= \frac{750 \times 30}{87910 \times 0,10} \\
 S &= \frac{22500}{8791} \\
 S &= 0,39 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Rekapitulasi Penurunan Tiang Pancang Titik S-3

No.	Bentuk Penurunan	Penurunan Tiang
1.	Tiang apung atau friksi	0,16 cm
2.	Tiang dukung ujung	0,39 cm
Total Penurunan		0,55 cm

7. Penurunan Tiang Pancang Kelompok

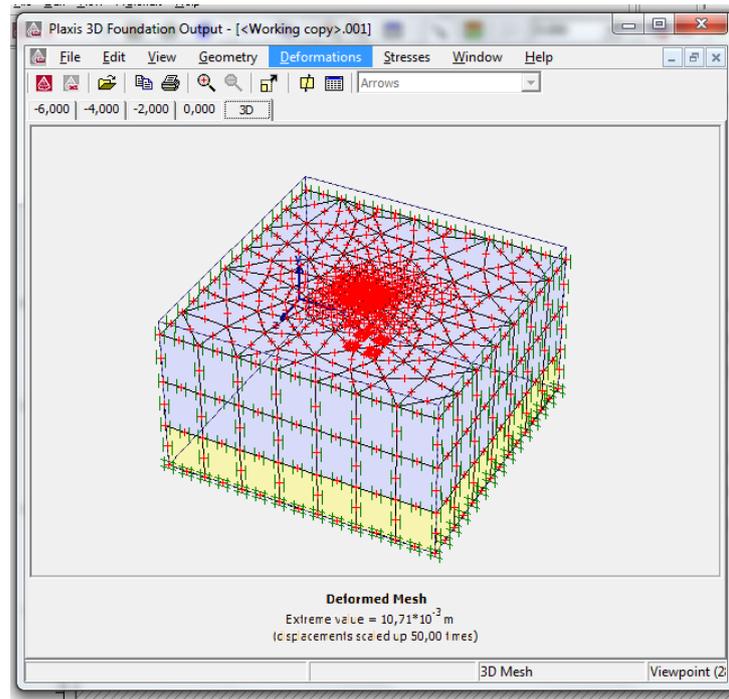
$$\begin{aligned}
 S_g &= \frac{q \cdot B_g \cdot I}{2 \cdot q_c} \\
 \text{dimana:} \\
 q &= \frac{Q_{ug}}{L_g \cdot B_g} \\
 q &= \frac{264640}{160 \times 160} \\
 q &= 10,338 \text{ kg/cm}^2 \\
 I &= 1 - \frac{L}{8B_g} \\
 I &= 1 - \frac{600}{8 \times 160} \\
 I &= 0,53 \\
 S_g &= \frac{q \cdot B_g \cdot I}{2 \cdot q_c} \\
 S_g &= \frac{10,338 \times 160 \times 0,53}{2 \times 250} \\
 S_g &= \frac{876,66}{500} \\
 S_g &= 1,7533 \text{ cm} = 17,533 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

8. Permodelan pada Software Plaxis

Adapun langkah-langkah memasukan data ke *Software Plaxis* adalah sebagai berikut:

1. Pada saat membuka *Plaxis Input*, sebuah kotak dialog *Create/Open project* akan muncul. Pilih option *New Project* untuk memulai proyek baru kemudian tekan tombol *OK*.
2. Setelah kotak dialog *General settings* ditampilkan, masukan nama proyek pada kotak *Title*. Pilih tombol *Next* atau lembar *tab Dimensions*. Satuan panjang, gaya dan waktu yang digunakan adalah m, kN dan hari, maka

- masukkan pada *combo box Length, Force* dan *Time* yang sesuai. Lalu masukan dimensi geometri dan grid yang akan digunakan.
3. Kemudian akan muncul layar kerja sesuai dengan yang telah ditentukan sebelumnya. Layar kerja tersebut merupakan tampak atas dari model geometri yang akan dianalisa.
 4. Lalu pilih *icon work planes* untuk menentukan bidang kerja dalam arah vertikal (kedalamannya). Dalam Plaxis 3D, bidang kerja dalam arah vertikal di definisikan sebagai sumbu Y.
 5. Pilih *icon borehole* untuk menentukan tebal lapisan tanah dan jenis tanah pada tiap lapisannya.
 6. Definisikan parameter tanah yang digunakan dengan memilih tombol material atau dengan memilih *Materials > Soil & Interfaces* pada baris menu. Untuk mendefinisikan data tanah yang digunakan pilih tombol *New*. Sebuah kotak dialog baru yang terdiri dari lembar tab *General, Parameters* dan *Interfaces* akan ditampilkan. Masukkan identitas tanah pada kotak *Identification*. Pada *combo box Material model* dan *Material type* berturut-turut dipilih model analisa yang akan digunakan dan kondisi tanah yang akan dimodelkan. Kemudian pada kotak γ_{unsat} , γ_{sat} , k_x , dan k_y berturut-turut dimasukkan parameter tanah berupa berat isi tanah dalam kondisi kering dan dalam kondisi jenuh air serta permeabilitas tanah dalam arah horizontal dan arah vertikal. Setelah itu pilih tombol *Next* atau pilih lembar tab *Parameters*. Pada lembar tab *Parameters*, masukkan data modulus elastisitas, *poisson ratio*, kohesi, dan sudut geser tanah berturut-turut pada kotak E_{ref} , ν (ν), c_{ref} , dan ϕ (ϕ). Setelah itu pilih lembar tab *Interfaces* atau memilih tombol *Next*. Masukan nilai *interface* pada kotak Rinter dengan memilih *option Manual* pada lembar tab *Interfaces*. Setelah itu pilih tombol OK. Untuk mengaplikasikan material tanah ke dalam model geometri, drag material tanah yang ada ke model geometri.
 7. Lalu tentukan beban aksial yang akan diberikan dengan memilih *icon point load*.
 8. Langkah selanjutnya adalah mengklik *icon 2D mesh generation*.
 9. Kemudian juga klik *icon 3D mesh generation*
 10. Berikut ini adalah output Plaxis untuk kelompok tiang pondasi yang berjumlah 4 tiang.



Gambar 4.2 Total Displacements U_{tot}

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan penurunan tiang pancang kelompok pada titik As D-8 No. 167, baik dengan metode perhitungan konvensional (Metode Poulus-Davis) maupun Permodelan Plaxis seperti yang tertuang pada table dibawah ini.

Tabel 4.5 Hasil Penurunan Tiang Pancang Kelompok

Metode	Penurunan Tiang (mm)
Poulus dan Davis	17,533
Plaxis	10,710

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Analisa pada Proyek Gedung STT Wastukencana, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Hasil perhitungan kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal pada titik S-3 menggunakan metode Mayerhof sebesar 35,16 Ton. Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal pada titik BH-1 menggunakan metode Mayerhof sebesar 20,36 Ton. Sedangkan hasil perhitungan nilai daya dukung Tiang Pancang kelompok sebesar 264,64 Ton.
- b. Hasil perhitungan Efisiensi kelompok tiang dengan menggunakan metode Converse-Labbare didapat nilai sebesar 0,7526 atau 75,26%.
- c. Hasil perhitungan penurunan tiang pancang kelompok (*settlement*) dengan metode Poulus dan Davis pada As D-8 No.167 sebesar 10,10 mm serta menggunakan *Software* Plaxis sebesar 10,71 mm sehingga terdapat perbedaan hasil sebesar 0,61 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, S. (2010). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. In *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik-Revisi ke X* (10th ed.). Rineka Cipta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-2002. In *Bandung: Badan Standardisasi Nasional*.
- Bima, D. P. (2018). *Analisis daya dukung tanah pondasi tiang pancang dengan metode meyerhoff*.
- Bowles, J. E. (2005). *Analisis Dan Desain Pondasi II*. Erlangga, Jakarta, 2, 474.
- Creswell, J. W. (1998). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five traditions*. In *Qualitative Health Research* (Vol. 9, Issue 5).
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. In *Penerbit Erlangga* (1st ed.). Erlangga.
- Gunawan, R. (1991). *Pengantar Teknik Pondasi* (5th ed.). Kanisius.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I* (3rd ed.). Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Analisis dan Perancangan Fondasi (Bagian 1)* (2nd ed.). Gadjah Mada University Press.
- Hoang, L. T., Dao, K. X., Xiong, X., & Matsumoto, T. (2021). *Performance analysis of a jacked-in single pile and pile group in saturated clay ground*. *Soils and Foundations*, 62(1), 101094. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.101094>
- Marbun, B. (2009). *Analisa Penurunan Elastis Pondasi Tiang Pancang Proyek Pembangunan Rusunawa Medan Area*. Universitas Sumatera Utara.
- Meyerhof, G. G. (1956). *Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils*. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 82(1). <https://doi.org/10.1061/jsfeaq.0000001>
- Arikunto, S. (2010). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. In *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik-Revisi ke X* (10th ed.). Rineka Cipta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-2002. In *Bandung: Badan Standardisasi Nasional*.
- Bima, D. P. (2018). *Analisis daya dukung tanah pondasi tiang pancang dengan metode meyerhoff*.
- Bowles, J. E. (2005). *Analisis Dan Desain Pondasi II*. Erlangga, Jakarta, 2, 474.
- Creswell, J. W. (1998). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five traditions*. In *Qualitative Health Research* (Vol. 9, Issue 5).
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. In *Penerbit Erlangga* (1st ed.). Erlangga.
- Gunawan, R. (1991). *Pengantar Teknik Pondasi* (5th ed.). Kanisius.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I* (3rd ed.). Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Analisis dan Perancangan Fondasi (Bagian 1)* (2nd ed.). Gadjah Mada University Press.
- Hoang, L. T., Dao, K. X., Xiong, X., & Matsumoto, T. (2021). *Performance analysis of a jacked-in single pile and pile group in saturated clay ground*. *Soils and Foundations*, 62(1), 101094. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.101094>
- Marbun, B. (2009). *Analisa Penurunan Elastis Pondasi Tiang Pancang Proyek Pembangunan Rusunawa Medan Area*. Universitas Sumatera Utara.
- Meyerhof, G. G. (1956). *Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils*. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 82(1). <https://doi.org/10.1061/jsfeaq.0000001>
- Mualif, M., Ridwan, A., & Winarto, S. (2020). *Analisa Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Pada Gedung Rektorat Universitas Darul Ulum Jombang*. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 3(1), 86.
- Reese, L. C., & O'Neill, M. W. (1989). *New design method for drilled shafts from common*

soil and rock tests.

- Sardjono. (1987). Pondasi Tiang Pancang Jilid I. In *J. For. Res.* (2nd ed., Vol. 23, Issue 11). Sinar Wijaya.
- Tambunan, J. (2012). Studi Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang. *Jurnal Rancang Sipil*, 1(1), 21–30.
- Umam, A. K., Winarto, S., Ridwan, A., & Candra, A. I. (2020). Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Gedung Dinas Tenaga Kerja Dan Transmigrasi. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 3(1), 23.
- Vesić, A. S. (1967). *A study of bearing capacity of deep foundations.*
- Wismantaraharjo, M. T., Gandi, S., & Sarie, F. (2020). ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN. 3(2), 198–207.
- Yang, S., Liu, J., Zhang, M., & Wang, Y. (2020). *Analytical Solution and Field Test of Critical Bearing Capacity and Settlement of Pile Tip.* *Stavební Obzor - Civil Engineering Journal*, 29(1), 61–73. <https://doi.org/10.14311/cej.2020.01.0006>
- Yusti, A., & Fahrani, F. (2014). ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG DIVERIFIKASI DENGAN HASIL UJI PILE DRIVING ANALYZER TEST DAN CAPWAP (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang). *Jurnal Fropil*, 2, 19–31