

Analisis Perbandingan Variasi Dimensi Fondasi Tiang Pancang Pada Jembatan Sambirejo di Tol Solo-Kertosono

Malinda Wulandari¹, Dian Purnamawati Solin^{1*}, Himatul Farichah¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

^{*}diansolin.ts@upnjatim.ac.id

Abstract

The foundation is one of the essential elements in a construction. Therefore, during the process of designing, meticulous design becomes important. This involves a careful consideration of soil investigation and upper structure data. Apart from these two aspects, selecting the appropriate foundation type, dimensions, and depth is crucial during design. Hence, in this research, the bearing capacity of pile foundations is with variations in dimensions of 500, 600, and 800 to obtain effective and suitable dimensions for the case study area of the Solo-Kertosono toll road. Additionally, this study includes an analysis of the efficiency of pile by calculating bearing capacity, settlement and cost and time estimation plan. In summary, the research indicate that the most effective and suitable dimension is a foundation with a diameter of 800 mm.

Keywords: Agregat, Article, Journal, Paper, Muhammadiyah University of Surabaya

Abstrak

Fondasi merupakan salah satu elemen penting dalam sebuah konstruksi. Oleh karena itu, dalam perencanaan fondasi harus direncanakan sedemikian rupa baik itu dari data tanah disekitarnya dan data bangunan yang diatasnya. Selain kedua hal tersebut, pemilihan jenis fondasi, dimensi dan kedalaman yang tepat juga merupakan faktor utama yang harus diperhatikan pada saat perencanaan fondasi. Dengan alasan ini, pada penelitian ini dilakukan analisis daya dukung fondasi tiang pancang dengan variasi dimensi 500 mm, 600 mm dan 800 mm untuk mendapatkan dimensi yang efektif dan sesuai pada area studi kasus tol Solo-Kertosono. Selain itu, pada penelitian ini ditambahkan analisis efisiensi dari nilai daya dukung, penurunan yang terjadi serta perbandingan biaya dan waktu. Dari keseluruhan hasil penelitian didapatkan bahwa dimensi yang paling efektif dan sesuai adalah fondasi dengan diameter 800 mm.

Kata Kunci: Daya Dukung Fondasi, SPT, Penurunan Fondasi

PENDAHULUAN

Fondasi adalah bagian terpenting dari suatu bangunan konstruksi karena berperan sebagai pemikul dan penahan beban yang bekerja pada struktur diatasnya (Girsang, 2009), khususnya pada struktur konstruksi jembatan. Fungsi fondasi pada konstruksi jembatan selain sebagai pemikul beban-beban yang bekerja pada struktur diatasnya, juga berfungsi untuk menentukan posisi struktur bangunan diatasnya berupa abutment atau pilar (Prasetyo et al., 2021).

Melihat fungsi fondasi yang sangat penting pada sebuah konstruksi, maka diperlukan adanya perencanaan yang sangat matang terkait hal ini. Bukan hanya dari data penyelidikan tanah ataupun data struktur yang ada diatasnya saja. Akan tetapi, perlu adanya pemilihan jenis fondasi yang sesuai dengan data lapangan, dimensi yang tepat, kedalaman yang sesuai. Meninjau dari hal tersebut, menurut Fajarsari & Sukirman, (2022) menyatakan bahwa pemilihan tipe dan dimensi fondasi merupakan hal yang cukup sulit dan penting dilakukan, karena jika fondasi mengalami penurunan yang besar akan berbahaya untuk konstruksi diatasnya. Maka dari itu, menurut Muthmainnah, (2021) menyatakan bahwa analisis daya dukung fondasi dengan membandingkan dimensi tiang pancang merupakan salah satu cara yang penting untuk mengetahui jenis fondasi yang paling efektif dan efisien untuk digunakan dalam perencanaan suatu konstruksi. Efisien yang dimaksud yaitu

perbandingan nilai daya dukung terbesar dan penurunan terkecil.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis daya dukung fondasi tiang pancang disertai perbedaan variasi dimensi penampang tiang untuk mengetahui fondasi paling efektif dan efisien dari segi nilai daya dukung, dan penurunan yang terjadi serta memperhitungkan perbandingan biaya yang dibutuhkan untuk pelaksanaan fondasi tiang pancang pada variasi dimensi.

METODE

Penelitian dilakukan di Jembatan *Overpass* Sambirejo ruas Jalan Tol Solo – Kertosono di Desa Sambirejo, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur.



Gambar 1. Lokasi penelitian
Sumber: Google Maps (2023)

Data Tanah

Data klasifikasi tanah dari hasil uji SPT yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Klasifikasi Tanah berdasarkan SPT

No	Depth	Deskripsi	N rata-rata
1	1-4	Silty Clay (Light Brown), Stiff	11,37
2	5-7	Compact Sand (light Grey), Dense	46,40
3	8-10	Sand (Light Grey), Dense	47,96
4	11-13	Clay (Light Grey), Hard	34,98
5	14-15	Sand (Light Grey), Hard	43,83
6	16-23	Clay (Light Grey), Hard	42,32
7	24-30	Sand (Light Grey), Dense	50,00

Koreksi N-SPT terhadap Muka Air Tanah

Koreksi terhadap muka air tanah, dengan nilai $N > 15$ dilakukan pada tanah yang berada di bawah muka air tanah untuk jenis tanah pasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung (Terzaghi & Peck, 1948)

$$N' = 15 + \frac{1}{2} (N - 15) \quad (1)$$

Koreksi N-SPT terhadap Overburden Pressure

Koreksi terhadap tegangan overburden terjadi akibat diperolehnya nilai N yang semakin besar seiring dengan dalamnya pemancangan pada kondisi tanah yang sama. Hal ini disebabkan oleh adanya *confining pressure* dan modulus elastis (E) yang bertambah besar pada kedalaman yang lebih besar (Hardiyatmo, 2011).

1. Pendekatan Youd & Idriss (2001)

$$N' = N \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \quad (2)$$

Koefisien nilai C_E , C_B , C_R , C_S dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif	-	C_N	$2.2 / (1.2 + (d'/p_0))$
Tegangan vertikal efektif	-	C_N	$C_N \leq 1.7$
Rasio Tenaga	Palu donat (Donut hammer)	C_E	0.5 s.d 1.0
Rasio Tenaga	Palu pengaman (Safety hammer)	C_E	0.7 s.d 1.2
Rasio Tenaga	Palu otomatis (Automatic-trip Donut-type hammer)	C_E	0.8 s.d 1.3
Diameter Bor	65 s.d 115 mm	C_B	1.0
Diameter Bor	150 mm	C_B	1.05
Diameter Bor	200 mm	C_B	1.15
Panjang Batang	<3 m	C_R	0.75
Panjang Batang	3 s.d 4 m	C_R	0.8
Panjang Batang	4 s.d 6 m	C_R	0.85
Panjang Batang	6 s.d 10 m	C_R	0.95
Panjang Batang	10 s.d 30 m	C_R	1.0
Pengambilan Contoh	Tabung standar	C_S	1.0
Pengambilan Contoh	Tabung dengan pelapis (liner)	C_S	1.1 s.d 1.3

Gambar 2. Koreksi-koreksi yang digunakan dalam uji SPT
Sumber: PUPR (2019)

2. Pendekatan Bazara (1967)

Bila nilai $P_0 \leq 75$ Kpa, maka:

$$N = \frac{4.N1}{1+0.04.P_0} \quad (3)$$

Bila nilai $P_0 > 75$ Kpa, maka:

$$N = \frac{4.N1}{1+0.01.P_0} \quad (4)$$

Daya Dukung Tiang Pancang dengan Metode Luciano Decourt, (1982)

Perumusan daya dukung tiang pancang menggunakan metode Luciano Decourt adalah penyempurnaan dari perumusan Meyerhoff, dimana perumusan Luciano Decourt memiliki nilai yang lebih akurat

(Ramadhan, 2022). Rumus daya dukung Luciano Decourt dari data hasil uji SPT dihitung dengan rumus berikut:

$$Q_{ult} = (N_p \times K \times A_p) + \left(\frac{N_s}{3} + 1\right) \times A_s \quad (5)$$

Keterangan:

Q_u = Daya dukung ultimate (ton)

A_p = Luas Penampang tiang (m^2)

N_p = Nilai rata-rata ketiga nilai NSPT pada ujung tiang

K = Koefisien tanah (ton/m^2)

N_s = Nilai rata-rata NSPT sepanjang tiang

A_s = Luas selimut tiang sepanjang tiang (m^2)

Perhitungan Penurunan Fondasi Tiang

1. Penurunan Segera

Rumus perhitungan *immediately settlement* menggunakan konsep perumusan Janbu 1956 memperhitungkan faktor kedalaman fondasi dan ketebalan lapisan tanah (Poedji Goesworo, 1999) Menurut Janbu (1956) perumusan penurunan rata-rata (*average settlement*) adalah sebagai berikut:

$$S_i = \frac{\mu_0 \times \mu_1 \times q_n \times B}{E_u} \quad (6)$$

Keterangan:

S_i = Penurunan segera rata-rata (m)

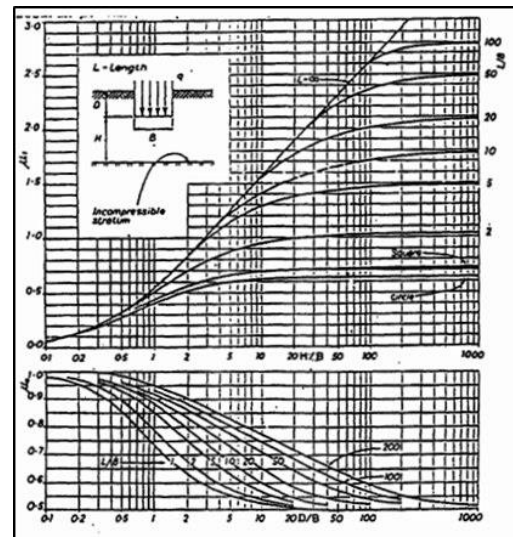
μ_1 = Faktor koreksi untuk kedalaman fondasi, fungsi dari $\frac{H}{B}$ & $\frac{L}{B}$ (Gambar 2)

μ_0 = Faktor koreksi untuk lapisan tanah, fungsi dari $\frac{D}{B}$ & $\frac{L}{B}$ (Gambar 2)

B = Lebar fondasi (m)

q = Tekanan fondasi (kN/m^2)

E = Modulus elastis tanah (kN/m^2)



Gambar 3. Harga besaran μ_0 dan μ_1
Sumber: Hadihardaja (1997)

2. Penurunan Konsolidasi

Pada penelitian ini perhitungan penurunan menggunakan besaran m_v (*the coefficient of volume compressibility*). Maka, rumus penurunan konsolidasi kelompok tiang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Hadihardaja, 1997):

$$\Delta P = \frac{qp}{(B+z) \times (L+z)} \quad (7)$$

$$Sc = \Delta P1 \times mv \times H \quad (8)$$

Keterangan:

ΔP = total tegangan yang terjadi pada tanah (kN/m²)

qp = Tekanan fondasi neto (kN/m²)

B = Lebar pile cap (m)

L = Panjang pile cap (m)

Z = titik tinjau penurunan dari 2/3 L (m)

B = Lebar pile cap (m)

L = Panjang pile cap (m)

mv = koefisien perubahan volume tanah (m²/kN)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koreksi N-SPT terhadap Muka Air Tanah

Perhitungan N-SPT pada kedalaman 21.

$$N = 43$$

$$\begin{aligned} N1 &= 15 + \frac{1}{2} (N - 15) \\ &= 15 + \frac{1}{2} (43 - 15) \\ &= 29 \end{aligned}$$

Koreksi N-SPT terhadap *Overburden Pressure*

1. Pendekatan Youd & Idriss (2001)

Koreksi pada kedalaman 21 m diketahui tegangan efektif sebesar 227,5 kN/m² dengan nilai C_N sebesar 0,6538. Faktor-faktor koreksi dalam uji SPT didapatkan nilai C_E 0,8; nilai C_B sebesar 1,0; nilai C_R sebesar 1,0; dan nilai C_s sebesar 1,0. Nilai N didapatkan sebesar 22,5 contoh perhitungan koreksi NSPT pada kedalaman 21 m dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

$$(N1)_{60} = N_m \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_s$$

$$CN = \frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma'_{vo}}{Pa}}$$

$$\begin{aligned} \sum_{21} \sigma'_{vo} &= \sum_{21-1} \sigma'_{vo} + ((\gamma_{sat} - \gamma_{air}) * \frac{1}{2} z) \\ &= 218,5 + ((22-10) * \frac{1}{2} * 1) \\ &= 227,5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$CN = \frac{2,2}{1,2 + \frac{227,5}{100}} = 0,63$$

$$\begin{aligned} N1(60) &= NSPT \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_s \\ &= 43 \times 0,63 \times 0,8 \times 1 \times 1 \times 1 \\ &= 21,78 \end{aligned}$$

2. Pendekatan Bazara (1967)

Koreksi N-SPT pada kedalaman 21 m:

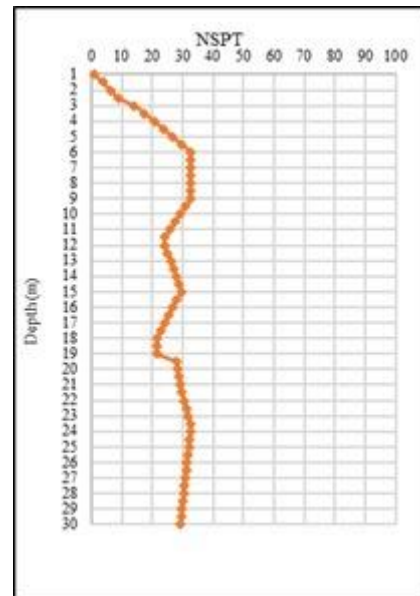
$$\begin{aligned} Po &= (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times D \\ &= (22-10) \times 21 \\ &= 252 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$Po > 75 \text{ kPa}$, maka:

$$\begin{aligned} N &= \frac{4 \cdot N1}{1 + 0,01 \cdot Po} = \frac{4 \cdot 43}{1 + 0,01 \cdot 252} \\ N &= 29,8 \end{aligned}$$

Dari hasil koreksi N-SPT menggunakan pendekatan Bazara (1967), Youd dan Idris (2001) terdapat perbedaan hasil perhitungan oleh sebab itu diambil nilai N *overburden pressure* yang mendekati koreksi muka air tanah. Maka untuk nilai N-SPT koreksi dapat dilihat pada Tabel 7 pada lampiran yang menunjukkan perbandingan antara nilai koreksi terhadap muka air tanah dan nilai

koreksi terhadap *overburden pressure* dan diambil nilai $N_{koreksi}$ paling kritis.



Gambar 4. Grafik NSPT

Daya Dukung Fondasi Metode L. Decourt (1982)

Perhitungan kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan metode Luciano Decourt dari data hasil uji SPT pada diameter fondasi 500 mm.

Diketahui:

Diameter tiang pancang = 500 mm

Kedalaman = 21m

a. Menghitung luas penampang fondasi

$$\begin{aligned} Ap &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,5^2 \\ &= 0,196 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

b. Menghitung nilai N_p

$$\begin{aligned} N_p &= 4B \text{ diatas hingga } 4B \text{ dibawah dasar tiang fondasi} \\ &= \frac{21,58 + 28,17 + 29 + 30,4 + 31,8}{5} \\ &= 28,68 \end{aligned}$$

c. Menghitung nilai Q_p

$$\begin{aligned} Q_p &= N_p \times K \times Ap \\ &= 28,68 \times 20 \times 0,196 \\ &= 112,55 \text{ ton} \end{aligned}$$

d. Menghitung luas selimut (As)

$$\begin{aligned} As &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 21 \\ &= 4,121 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

e. Menghitung nilai Q_s

$$\begin{aligned} N_s &= \text{Nilai rata-rata NSPT sepanjang tiang tertanam} \\ \sum N_{s21} &= 24,58 \\ Q_s &= \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times As \\ &= \left(\frac{24,58}{3} + 1 \right) \times 4,121 \\ &= 38,41 \text{ ton} \end{aligned}$$

f. Menghitung nilai Q_u

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 112,55 + 38,41$$

$$= 150,96 \text{ ton}$$

g. Menghitung nilai Q_{ijin}

$$Q_{ijin} = \frac{Q_{ultimate}}{SF}$$

$$= \frac{150,96}{3}$$

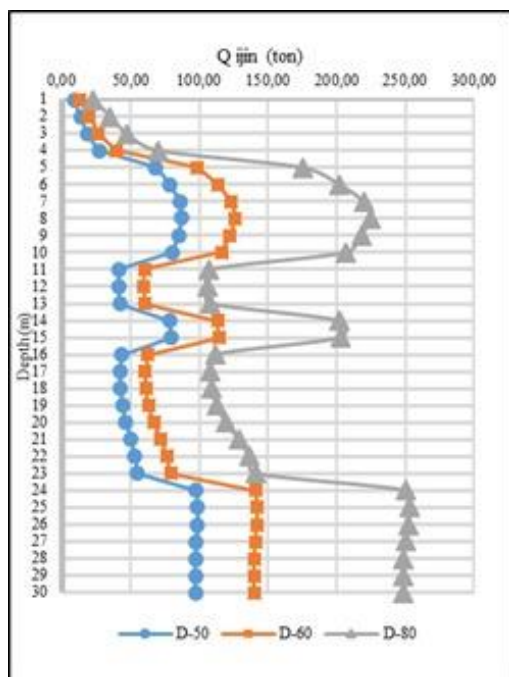
$$= 50,32 \text{ ton}$$

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 4 perhitungan nilai daya dukung fondasi pada variasi diameter, nilai daya dukung fondasi dipengaruhi oleh besar diameter penampang. Hasil perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang variasi diameter dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Daya Dukung Fondasi Tiang Tunggal

Diameter (mm)	Daya Dukung Fondasi (ton)
500 mm	50.15
600 mm	76.99
800 mm	127.09

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2023)



Gambar 5. Grafik Perbandingan Daya Dukung Ijin Tiang pancang tunggal diameter 500 mm, 600 mm & 800 mm

Sementara itu pada analisis perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang kelompok dengan variasi diameter didapatkan hasil yang serupa. Nilai daya dukung fondasi dipengaruhi oleh besar diameter penampang. Hasil perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang kelompok dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Nilai Daya Dukung Fondasi Tiang Kelompok

Dimensi (mm)	Jumlah Tiang (buah)	Daya Dukung Fondasi (ton)
500	40	1367,73
600	36	1841,20
800	24	2098,02

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2023)

Dari hasil analisis pada Tabel 3, nilai daya dukung fondasi tiang pancang kelompok juga dipengaruhi oleh diameter penampang. Semakin besar diameter penampang suatu fondasi maka pula nilai daya dukung fondasinya juga semakin besar.

Penurunan Fondasi Tiang Pancang

Menurut SNI 8460-2017 pasal 9.2.4.3 penurunan izin tidak boleh dari $< 15 \text{ cm} + b/600$ (b dalam cm). Hasil penurunan total dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi dari masing-masing variasi dimensi penampang dapat di lihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Nilai Penurunan Fondasi

Diameter (mm)	ΔS_i (mm)	ΔS_c (mm)	$\Sigma S = \Delta S_i + \Delta S_c$ (mm)	Batas Penurunan (mm)	Kontrol
500 mm	0,815295	28,90587	29,72116	150,08	Memenuhi
600 mm	0,804893	28,1627	28,9676	150,1	Memenuhi
800 mm	0,627993	24,10789	24,73589	150,13	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2023)

Selain melakukan analisis perhitungan penurunan dengan menggunakan rumus manual. Pada penelitian ini juga melakuakn perhitungan dengan menggunakan program bantu. Hasil analisis perhitungan penurunan menggunakan program bantu dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Rekapitulasi Nilai Penurunan fondasi dengan Program Bantu

Dimensi (mm)	Jumlah Tiang (buah)	Program Bantu	Batas Penurunan (mm)	Ket.
500 mm	40	26,83	150,08	Memenuhi
600 mm	36	25,55	150,1	Memenuhi
800 mm	24	19,61	150,13	Memenuhi

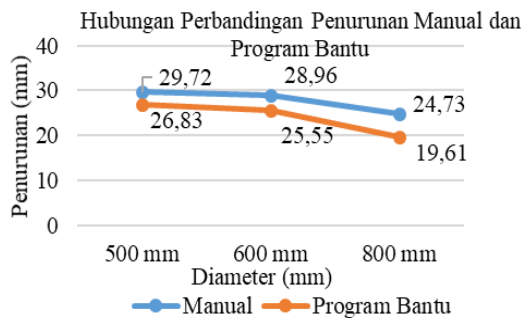
Sumber: Analisis Program Bantu (2023)

Hasil dari perhitungan penurunan menggunakan metode program bantu dibandingkan dengan hasil perhitungan penurunan manual memiliki rasio perbandingan perbedaan nilai penurunan kelompok tiang sebesar 1% - 1,3%. Nilai perbandingan penurunan tiang dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Perbandingan Nilai Penurunan Manual & Program Bantu

Dimensi	Jumlah Tiang	Penurunan (mm)		Rasio Perbedaan %
		Manual	Plaxis	
500 mm	40	29,72	26,83	1,10
600 mm	36	28,96	25,55	1,13
800 mm	24	24,73	19,61	1,26

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2023)



Gambar 6. Grafik Hubungan Perbandingan Perhitungan Penurunan Manual dan Program Bantu

Dari hasil analisis perhitungan penurunan fondasi tiang pancang, besar penurunan fondasi dipengaruhi oleh besar kecilnya diameter penampang dan jumlah tiangnya. Semakin banyak jumlah tiang maka penurunan yang terjadi akan semakin besar, hal ini disebabkan karena berat jenis dari tiang itu sendiri

Rencana Anggaran Biaya Fondasi Tiang Pancang

Rencana anggaran biaya pelaksanaan pekerjaan fondasi tiang pancang variasi dimensi 500 mm, 600 mm, dan 800 mm dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 7. Rekapitulasi Biaya Pekerjaan Tiang pancang Diameter 500 mm

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah harga
1	Pek. Tiang Pancang	840	m	Rp 1.217.422	Rp1.022.634,176
2	Pek. Bobok Beton	21,34	m3	Rp 65.767	Rp 1.406.369
3	Galian sedalam 1m Mobilisasi dan Demobilisasi	213,8	m3	Rp 139.256	Rp 29.778.583
4	Tes PDA	1	ls	Rp 40.000.000	Rp 40.000.000
5	Tes PDA	1	ls	Rp 8.000.000	Rp 8.000.000
Jumlah Harga					Rp1.101.819.128

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2023)

Tabel 8. Rekapitulasi Biaya Pekerjaan Tiang pancang Diameter 600 mm

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah harga
1	Pek. Tiang Pancang	756	m	Rp1.074.217	Rp 812.108.106
2	Pek. Bobok Beton	23,3	m3	Rp 65.767	Rp 1.534.221
3	Pek. Galian sedalam 1m Mobilisasi dan Demobilisasi	233,3	m3	Rp139.256	Rp 32.485.727
4	Tes PDA	1	ls	Rp40.000.000	Rp 40.000.000
5	Tes PDA	1	ls	Rp 8.000.000	Rp 8.000.000
Jumlah Harga					Rp 894.128.053

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2023)

Tabel 9. Rekapitulasi Biaya Pekerjaan Tiang pancang Diameter 800 mm

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah harga
1	Pek. Tiang Pancang	504	m	Rp1.195.098	Rp 602.329.300
2	Pek. Bobok Beton	36,28	m3	Rp 65.767	Rp 2.386.566
3	Pek. Galian sedalam 1m Mobilisasi dan Demobilisasi	362,88	m3	Rp 139.256	Rp 50.533.353
4	Tes PDA	1	ls	Rp 40.000.000	Rp 40.000.000
5	Tes PDA	1	ls	Rp8.000.000	Rp 8.000.000
Jumlah Harga					Rp 703.249.219

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan (2023)

Dari hasil rekapitulasi perhitungan biaya pekerjaan tiang pancang, anggaran biaya paling efisien yaitu pada fondasi berdiamater 800 mm sebesar Rp 703.249.219,00, Hal ini disebabkan karena tiap dimensi tiang memiliki volume yang berbeda, maka dari itu fondasi yang paling efektif dan efisien dari segi nilai daya dukung, penurunan dan anggaran biaya yaitu fondasi dengan diameter 800 mm.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang dengan variasi diameter, fondasi dengan diameter 800 mm merupakan fondasi paling efektif, efisien, dan aman dikarenakan mempunyai nilai daya dukung fondasi lebih besar yaitu sebesar 2098,02 ton dan penurunan paling kecil sebesar 24,73 mm dari hasil perhitungan manual dan 19,61 mm dari hasil perhitungan menggunakan program bantu serta dengan anggaran biaya pekerjaan tiang pancang sebesar Rp 703.249.219,00.

DAFTAR PUSTAKA

- Fajarsari, E. J., & Sukirman, E. (2022). Perbandingan Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi Tiang Berdasarkan Bentuk Dengan Variasi Dimensi. *Ug Jurnal*, 16(1), 42–52.
- Girsang, P. (2009). *Analisa Daya Dukung Fondasi Bored Pile Tunggal Pada Proyek Pembangunan Gedung Crystal Square Jl. Imam Bonjol No. 6 Medan*. Universitas Sumatera Barat.
- Hadihardaja, J. (1997). *Rekayasa pondas II Fondasi Dangkal dan Fondasi Dalam*. Penerbit Gunadarma.
- Hardiyatmo, H. C. (2011). *Teknik Fondasi I*. Penerbit Gajah

- Mada University, Jogjakarta.
- Muthmainnah, M. (2021). Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Dengan Variasi Dimensi [Universitas Islam Indonesia]. In *Skripsi Teknik Universitas Islam Indonesia*.
- Poedji Goesworo, S. (1999). *Analisa Penurunan Fondasi rakit Pada Tanah Lunak*. Universitas Islam Indonesia.
- Prasetyo, S. T., Priskasari, E., & Erfan, M. (2021). Perencanaan Struktur Bawah (Abutment) Pada Pembangunan Jembatan Petak , Kabupaten Nganjuk. *Student Journal GELAGAR*, 3(1), 149–158.
- PUPR. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik Dan Fondasi*.
- Ramadhan, M. N. D. (2022). *Daya Dukung Fondasi Tiang Fondasi Tiang Pancang dengan Variasi Bentuk dan Dimensi (Studi Kasus Gedung Perkuliahan Bersama dan Laboratorium FEB UPN “Veteran” Jawa Timur*. UPN “veteran” Jawa Timur.
- SNI 8460-2017. (2017). *SNI 8460-2017 - Persyaratan Persyaratan Perancangan Geoteknik*.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1948). *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa - Jilid 1* (2nd ed.). Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Youd, T. L., & Idriss, I. M. (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(4), 297–313.