

ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG DENGAN MENGGUNAKAN DATA SONDIR DAN SPT PADA STUDI KASUS PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH SUSUN POLDA SUMUT DI JALAN BHAYANGKARA, MEDAN TEMBUNG KOTA MEDAN

Gifari Galih Nugraha, Diana Suita Harahap

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan

ggnugraha31@gmail.com; dns1301@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis daya dukung pondasi tiang pancang tunggal dan kelompok pada proyek pembangunan rumah susun Polda Sumatera Utara di Medan Tembung, menggunakan data Cone Penetration Test (CPT) dan Standard Penetration Test (SPT). Metode analisis yang digunakan mencakup Metode Aoki-de Alencar dan Meyerhof untuk tiang tunggal, serta metode Converse-Labarre dan Los Angeles Group-Action untuk tiang kelompok. Data geoteknik diperoleh dari pengujian (DCPT) dan SPT hingga kedalaman 20 meter padatitik investigasi. Analisis mencakup dua diameter tiang pancang, yaitu 30 cm dan 40 cm. Dengan menghitung kapasitas daya dukung ultimate dan ijin tanpa mempertimbangkan penurunan maupun gaya horizontal. Hasil analisis menunjukkan variasi nilai daya dukung. Untuk tiang tunggal, metode Meyerhof memberikan kapasitas lebih tinggi sebesar 132,459 ton dibandingkan Aoki-de Alencar terkecil sebesar 48,605 ton, baik berdasarkan data CPT maupun SPT. Pada tiang kelompok, kapasitas metode Converse-Labarre dan Los Angeles Group dengan Meyerhof lebih besar yaitu 5529,109 ton pada Converse-Labarre, 5278,234 ton pada Los Angeles dibandingkan Aoki-de Alencar yaitu 2770,996 ton pada Converse-Labarre, 2797,028 ton pada Los Angeles. Perbedaan ini memperlihatkan pengaruh metode perhitungan terhadap kapasitas daya dukung pondasi. Temuan ini diharapkan memberi rekomendasi praktis dan menjadi referensi dalam perencanaan pondasi tiang pancang berbasis data CPT dan SPT.

Kata Kunci: Daya Dukung, Pondasi, Tiang Pancang, CPT, SPT.

I. PENDAHULUAN

Pembangunan struktur bertingkat, seperti rumah susun, memerlukan sistem pondasi yang kokoh dan andal untuk menyalurkan beban dari bangunan ke tanah di bawahnya[1]. Pemilihan jenis pondasi yang tepat sangat krusial untuk menjamin stabilitas dan keamanan bangunan dalam jangka panjang. Salah satu jenis pondasi dalam yang sering digunakan adalah pondasi tiang pancang, yang berfungsi mendistribusikan tekanan secara merata ke lapisan tanah yang lebih dalam dan kuat[2]. Kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang ditentukan oleh tahanan ujung (*end bearing capacity*) dan tahanan gesek selimut (*friction bearing capacity*) yang bekerja pada tiang[3]. Penentuan daya dukung pondasi tiang pancang memerlukan data geoteknik yang komprehensif, yang umumnya diperoleh melalui investigasi lapangan seperti pengujian Cone Penetration Test (CPT) dan *Standard Penetration Test* (SPT)[4].

Kedua metode ini memberikan informasi penting mengenai karakteristik tanah, termasuk kekuatan dan kedalaman lapisan tanah keras. Namun, meskipun CPT dan SPT umum digunakan, interpretasi data di lapangan sering kali memiliki tantangan, terutama di area dengan kondisi geoteknik yang kompleks. Oleh karena itu, analisis

mendalam sangat penting untuk mendapatkan perhitungan daya dukung yang akurat dan sesuai dengan kondisi tanah di lokasi proyek. Penelitian ini berfokus pada analisis daya dukung fondasi tiang pancang pada proyek pembangunan rumah susun Polda Sumatera Utara di Jalan Bhayangkara, Medan. Dengan membandingkan hasil analisis dari data CPT dan SPT menggunakan beberapa metode perhitungan, seperti Metode Meyerhof dan Metode Aoki-de Alencar untuk tiang tunggal, serta Metode Converse-Labarre dan Metode Los Angeles Group-Action Formula untuk tiang kelompok, diharapkan penelitian ini dapat memberikan rekomendasi praktis dan akurat. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat menjadi panduan yang bermanfaat bagi para perencana dan pelaksana konstruksi dalam menentukan desain fondasi tiang pancang yang aman, efisien, dan optimal untuk proyek serupa di masa mendatang.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi proyek

Penelitian ini dilaksanakan pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Polda Sumatera Utara yang berlokasi di Jalan Bhayangkara, Indra

Kasih, Kec. Medan Tembung, Kota Medan, Sumatera Utara.



Gambar 1. Denah lokasi proyek

(sumber :Data Proyek Pembangunan Rumah Susun Polda Sumut)

2.2 Metode penyelidikan tanah menggunakan sondir (cone penetration test) dan SPT (standard penetration test)

Dalam merencanakan sebuah pondasi dibutuhkan penyelidikan tanah di lapangan berupa data Sondir Cone Penetration Test, Standard Penetration Test (SPT), dan lain sebagainya. Penyelidikan tanah ini diperlukan untuk menghitung daya dukung pondasi yang akan digunakan, menentukan jenis pondasi yang akan dipakai dan untuk menentukan metode konstruksi yang baik, efisien dan ekonomis.

2.3 Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan data CPT Menggunakan Metode Meyerhof.

Kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang (pile foundation) berdasarkan data (CPT) dengan menggunakan metode Meyerhoff, daya dukung pondasi tiang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut[5]:

$$Q_u = q_c \times A_p + J_{HL} \times K \times t$$

Daya dukung ijin pondasi tiang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$Q_{ijin} = \frac{(q_c \times A_p)}{3} + \frac{(J_{HL} \times K \times t)}{5}$$

Keterangan :

Q_u = Kapasitas daya dukung tiang pancangtunggal (kg)

Q_{ijin} = Kapasitas daya dukung ijin (kg)

q_c = Tahanan ujung sondir (kg/cm²)

J_{HL} = Jumlah hambatan lekat (kg/cm)

K_t = Keliling tiang (cm)

A_p = Luas penampang tiang (cm²)

3 = Faktor keamanan daya dukung tiang

5 = Faktor keamanan gesekan selimut

2.4 Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan data CPT Menggunakan Metode Aoki de Alencar.

Aoki dan De Alencar mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari data sondir. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) diperoleh sebagai berikut[6]:

$$q_b = \frac{(q_{ca}(base))}{F_b}$$

Dengan:

$q_{ca}(base)$ = Perlawanan konus rata-rata 1,5D di atas ujung tiang, 1,5D di bawah ujung tiang dan F_b adalah faktor empirik tergantung pada tipe tanah.

Tahanan Selimut persatuan luas (r_s) diprediksi sebagai berikut:

$$r_s = q_c(side)(as)/F_s$$

Keterangan :

$q_c(side)$ = perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang

as = 3% (faktor empirik tanah dari tabel 2.5)

F_s = faktor empirik tahanan kulit yang tergantung pada tipe tanah

F_b = faktor empirik tahanan ujung tiang yang tergantung pada tipe tanah.

Perhitungan daya dukung ujung tiang (Q_b)

$$Q_b = q_b \cdot A_p$$

Perhitungan daya dukung gesek selimut (Q_s)

$$Q_s = r_s \cdot A_s$$

Perhitungan daya dukung Ultimit (Q_u)

$$Q_u = Q_b \cdot Q_s$$

Perhitungan Daya ijin tiang (Q_{ijin})

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

Dimana :

A_p = Luas penampang ujung tiang

A_s = Luas permukaan selimut tiang

SF = Faktor Keamanan daya dukung tiang (3)

2.5 Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan data SPT Menggunakan Metode Meyerhof

Kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang (pile foundation) berdasarkan data (SPT) dengan menggunakan metode Meyerhoff, daya dukung pondasi tiang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

Tahanan Ujung Pondasi Tiang(Q_b):

$$Q_b = 40 \times N_b \times A_p$$

Tahanan selimut pondasi tiang pancang (Q_s)

$$Q_s = 0,2 \times N \times A_s$$

Daya dukung Ultimit (Q_{ult})

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s$$

Daya dukung ijin (Q_{all})

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

Dimana :

- Q_b = Tahanan Ujung Pondasi Tiang
- Q_s = Tahanan selimut pondasi tiang
- Q_{ult} = Daya dukung ultimit (ton)
- Q_{all} = Daya dukung ijin (ton)
- A_p = Luas penampang ujung tiang
- A_s = Luas permukaan selimut tiang
- SF = Faktor Keamanan daya dukung tiang

2.6 Analisis Daya Dukung Pondasi Kelompok Menggunakan Metode Converse-Labarre

Kapasitas efesiensi kelompok tiang (E_g)[7]:

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

Dimana :

- E_g = Effisiensi Kelompok Tiang
- m = Jumlah baris
- n = Jumlah tiang satu baris
- θ = arc tan

Kapasitas kelompok ijin tiang (Q_g) [8]:

$$Q_g = E_g \times n \times Q_a$$

Dimana :

- Q_g = Kapasitas kelompok ijin tiang
- m = Effisiensi Kelompok Tiang
- n = Jumlah tiang
- Q_a = Qijin tiang tunggal

2.7 Analisis Daya Dukung Pondasi Kelompok Menggunakan Metode Aoki De Alencar

kapasitas efesiensi kelompok tiang (E_g)[9] :

$$E_g = 1 - \left(\frac{d}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} \right) [m \cdot (n-1) + s \cdot \sqrt{2(m-1)(n-1)}]$$

Dimana :

- E_g = Effisiensi Kelompok Tiang
- d = Diameter tiang(m)
- m = Jumlah baris
- n = Jumlah tiang satu baris
- s = jarak antar tiang (m)

Kapasitas kelompok ijin tiang (Q_g) :

$$Q_g = E_g \times n \times Q_a$$

Dimana :

- Q_g = Kapasitas kelompok ijin tiang
- m = Effisiensi Kelompok Tiang
- n = Jumlah tiang

Q_a = Qijin tiang tunggal

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data CPT menggunakan Metode Meherhof

A. Tiang diameter 30 cm pada titik Sondir S-1

Kedalaman 18,60 m

$$q_c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{cr} = 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$JHL = 931 \text{ kg/cm}$$

$$A_p = S \times S$$

$$= 30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2$$

$$A_k = 4 \times S$$

$$= 4 \times 30 = 120 \text{ cm}$$

Menghitung daya dukung ultimit :

$$Q_u = (q_c \times A_p) + (JHL \times K_t)$$

$$= (200 \text{ kg/cm}^2 \times 900 \text{ cm}^2) + (931 \text{ kg/cm} \times 120 \text{ cm})$$

$$= 291,72 \text{ Ton}$$

Menghitung daya dukung ijin :

$$Q_{ijin} = \frac{(q_c \times A_p)}{FK1} + \frac{(JHL \times K_t)}{FK2}$$

$$= \frac{(200 \text{ kg/cm}^2 \times 900 \text{ cm}^2)}{3} + \frac{(931 \text{ kg/cm} \times 120 \text{ cm})}{5}$$

$$= 82,344 \text{ Ton}$$

B. Tiang diameter 40 cm pada titik Sondir S-1

Kedalaman 18,60 m

$$q_c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{cr} = 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$JHL = 931 \text{ kg/cm}$$

$$A_p = S \times S$$

$$= 40 \times 40 = 1600 \text{ cm}^2$$

$$A_k = 4 \times S$$

$$= 4 \times 40 = 160 \text{ cm}$$

Menghitung daya dukung ultimit:

$$Q_u = (q_c \times A_p) + (JHL \times A_k)$$

$$= (200 \text{ kg/cm}^2 \times 1600 \text{ cm}^2) + (931 \text{ kg/cm} \times 160 \text{ cm})$$

$$= 468,96 \text{ Ton}$$

Menghitung daya dukung ijin:

$$Q_{ijin} = \frac{(q_c \times A_p)}{FK1} + \frac{(JHL \times A_k)}{FK2}$$

$$= \frac{(200 \text{ kg/cm}^2 \times 1600 \text{ cm}^2)}{3} + \frac{(931 \text{ kg/cm} \times 160 \text{ cm})}{5}$$

$$= 136,459 \text{ Ton}$$

3.2 Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data CPT menggunakan Metode Aoki De Alencar

A. Tiang diameter 30 cm pada titik Sondir S-1

Menghitung daya dukung ujung tiang (Q_b)

$$\text{Kedalaman} = 15,0 \text{ m}$$

$$\text{Diameter} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Keliling tiang} = 4 \times 30 = 120 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 Fb &= 1,75 \text{ (faktor empirik dari ujung tiang pancang)} \\
 P1 &= 1,5 \cdot D \\
 &= 1,5 \cdot 0,3 = 0,45 \\
 &= 15 - 0,45 = 14,55 \text{ m} \\
 P2 &= 1,5 \cdot D \\
 &= 1,5 \cdot 0,3 = 0,45 \\
 &= 15 + 0,45 = 15,45 \text{ m} \\
 qca &= \text{(Diperoleh dari rata-rata perlawanan konus sepanjang 1,5 D diatas dan bawah ujung tiang)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{118+57+100+103+118}{5} \\
 &= 99,2 = 99 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 qb &= \frac{qca}{Fb} = \frac{99}{1,75} \\
 &= 57 \text{ kg/cm}^2 = 5589,80 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ap &= S \times S \\
 &= 30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2 = 0,09 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qb &= qb \times Ap \\
 &= 5589,80 \text{ kN/m}^2 \times 0,09 \text{ m}^2 \\
 &= 503,083 \text{ kN} \\
 &= 50,308 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Daya Dukung Selimut (Qs)

$$\begin{aligned}
 Fs &= 3,5 \text{ (faktor empirik tahanan kulit)} \\
 as &= 3 \% \text{ (faktor empirik tanah)} \\
 qc &= \frac{5866}{93} \\
 &= 63,07 \text{ Kg/cm}^2 \\
 rs &= qc \text{ (side) } as/Fs \\
 &= 63,07 \times \frac{0,03}{3,5} \\
 &= 0,5406 \text{ Kg/cm}^2 \\
 &= 53,06 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As &= 4 \cdot S \cdot \Delta L \\
 &= 4 \times 0,3 \times 15 \\
 &= 18 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qs &= rs \times As \\
 &= 53,06 \text{ kN/m}^2 \times 18 \text{ m}^2 \\
 &= 955,080 \text{ kN} \\
 &= 95,508 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Daya Dukung Ultimit Tiang (Qu)

$$\begin{aligned}
 Qu &= Qb + Qs \\
 &= 50,308 \text{ ton} + 95,508 \text{ ton} \\
 &= 145,816 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Daya Dukung Ijin Tiang (Qijin)

$$\begin{aligned}
 Qijin &= \frac{Qu}{SF} \\
 &= \frac{145,816}{3} \\
 &= 48,605 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

B. Tiang diameter 40 cm pada titik Sondir S-1

Menghitung daya dukung ujung tiang (Qb)

$$\begin{aligned}
 \text{Kedalaman} &= 15,0 \text{ m} \\
 \text{Diameter} &= 40 \text{ cm} \\
 \text{Keliling tiang} &= 4 \times 40 = 160 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Fb &= 1,75 \text{ (faktor empirik dari ujung tiang pancang)} \\
 P1 &= 1,5 \cdot D \\
 &= 1,5 \cdot 0,4 = 0,6 \\
 &= 15 - 0,60 = 14,40 \text{ m} \\
 P2 &= 1,5 \cdot D \\
 &= 1,5 \cdot 0,4 = 0,6 \\
 &= 15 + 0,60 = 15,60 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 qca &= \text{(Diperoleh dari rata-rata perlawanan konus sepanjang 1,5 D diatas dan bawah ujung tiang)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{92+118+57+100+103+118+111}{7} \\
 &= 99,8 = 100 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 qb &= \frac{qca}{Fb} = \frac{100}{1,75} \\
 &= 57,1 \text{ kg/cm}^2 = 5599,6 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ap &= S \times S \\
 &= 40 \times 40 = 1600 \text{ cm}^2 = 0,16 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qb &= qb \times Ap \\
 &= 5599,60 \text{ kN/m}^2 \times 0,16 \text{ m}^2 \\
 &= 895,936 \text{ kN} \\
 &= 89,593 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Daya Dukung Selimut (Qs)

$$\begin{aligned}
 Fs &= 3,5 \text{ (faktor empirik tahanan kulit)} \\
 as &= 3 \% \text{ (faktor empirik tanah)} \\
 qc &= \frac{5866}{93} \\
 &= 63,07 \text{ Kg/cm}^2 \\
 rs &= qc \text{ (side) } as/Fs \\
 &= 63,07 \times \frac{0,03}{3,5} \\
 &= 0,5406 \text{ Kg/cm}^2 \\
 &= 53,06 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As &= 4 \cdot S \cdot \Delta L \\
 &= 4 \times 0,4 \times 15 \\
 &= 24 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Qs &= rs \times As \\
 &= 53,06 \text{ kN/m}^2 \times 24 \text{ m}^2 \\
 &= 1273,440 \text{ kN} \\
 &= 127,344 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Daya Dukung Ultimit Tiang (Qu)

$$\begin{aligned}
 Qu &= Qb + Qs \\
 &= 89,593 \text{ ton} + 127,344 \text{ ton} \\
 &= 216,937 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Daya Dukung Ijin Tiang (Qijin)

$$\begin{aligned}
 Qijin &= \frac{Qu}{SF} \\
 &= \frac{216,937}{3} \\
 &= 72,312 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 1. Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Metode Aoki & De Alencar Dengan Data Sondir-1 diameter 30 dan 40 cm

Keterangan	Ukuran Tiang Pancang	
	Diameter 30 cm	Diameter 40 cm
Qp (ton)	50,308	89,593
Qs (ton)	95,508	127,344
Qu (ton)	145,816	216,937
Qijin (ton)	48,605	72,312

(Sumber :Hasil Perhitungan, 2025)

Dari Tabel 1 di atas didapat qultimate dan qijin dari metode Aoki De Alencar dimana diameter 40 cm lebih besar hasilnya.

Tabel 2. Analisis Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Antara Metode Meyerhof Dan Aoki De Alencar Dengan Data CPT

Keterangan	Meyerhof (CPT)		Aoki De Alencar (CPT)	
	30 cm	40 cm	30 cm	40 cm
Qu (ton)	291,72	468,96	145,816	216,937
Qijin (ton)	82,344	136,459	48,605	72,312

Dari Tabel 2 di atas didapat perbandingan nilai daya dukung tiang Pancang berdasarkan data Sondir (CPT) menggunakan metode Meyerhof lebih besar dari pada nilai daya dukung menggunakan metode Aoki De Alencar pada variasi diameter tiang 30 cm dan 40 cm.

3.3 Analisi daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Dengan data SPT Memakai Metode Meyerhof

A. Titik SPT BH-1 diameter 30 cm

Kedalaman pondasi 20 m

$$\begin{aligned} (Ap) &= S \times S \\ &= 30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2 = 0,09 \text{ m}^2 \\ (Ak) &= 4 \times S \\ &= 4 \times 30 = 120 \text{ cm} = 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

1. Tahanan dukung ujung tiang

$$\begin{aligned} Nb &= \frac{6+18+13+13+19+18+7+29+36+38+38+38}{12} \\ &= \frac{273}{12} = 22,75 \end{aligned}$$

Makatahanan ujung pondasi (Qb) :

$$\begin{aligned} Qb &= 40 \times Nb \times Ap \\ &= 40 \times 22,75 \times 0,09 \text{ m}^2 \\ &= 81,9 \text{ ton} \end{aligned}$$

2. Tahanan selimut pondasi tiang pancang nilai Nsdihitung berdasarkan nilai N-SPT rata-rata sepanjang tiang :

$$\begin{aligned} Ns &= \frac{6+18+13+13+19+18+7+29+36+38+38+38+38+38+32+28}{15} \\ &= \frac{371}{15} = 24,73 \end{aligned}$$

Maka tahanan selimut pondasi tiang pancang :

$$\begin{aligned} Qs &= 0,2 \times N \times As \\ &= 0,2 \times N \times Kt \times P \\ &= 0,2 \times 24,73 \times 1,2 \times 20 \\ &= 118,704 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung Ultimit (Qult)

$$\begin{aligned} Qult &= Qb + Qs \\ &= 81,9 + 118,704 \\ &= 200,604 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin (Qall)

$$\begin{aligned} Qall &= \frac{Qult}{2,5} \\ &= \frac{200,604}{2,5} = 80,242 \text{ ton} \end{aligned}$$

B. Titik SPT BH-1 diameter 40 cm

Kedalaman pondasi 20 m

$$\begin{aligned} (Ap) &= S \times S \\ &= 40 \times 40 = 1600 \text{ cm}^2 = 0,16 \text{ m}^2 \\ (Ak) &= 4 \times S \\ &= 4 \times 40 = 160 \text{ cm} = 1,6 \text{ m} \end{aligned}$$

Tahanan dukung ujung tiang

$$\begin{aligned} Nb &= \frac{6+18+13+13+19+18+7+29+36+38+38+38}{12} \\ &= \frac{273}{12} = 22,75 \end{aligned}$$

Maka tahanan ujung pondasi (Qb) :

$$\begin{aligned} Qb &= 40 \times Nb \times Ap \\ &= 40 \times 22,75 \times 0,16 \text{ m}^2 \\ &= 145,6 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tahanan selimut pondasi tiang pancang

Nilai Nsdihitung berdasarkan nilai N-SPT rata-rata sepanjang tiang :

$$\begin{aligned} Ns &= \frac{6+18+13+13+19+18+7+29+36+38+38+38+38+38+32+28}{15} \\ &= \frac{371}{15} = 24,73 \end{aligned}$$

Maka tahanan selimut pondasi tiang pancang:

$$\begin{aligned} Qs &= 0,2 \times N \times As \\ &= 0,2 \times N \times Kt \times P \\ &= 0,2 \times 24,73 \times 1,6 \times 20 \\ &= 158,272 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung Ultimit (Qult)

$$\begin{aligned} Qult &= Qb + Qs \\ &= 145,6 + 158,272 = 303,872 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin (Qall)

$$\begin{aligned} Qall &= \frac{Qult}{2,5} \\ &= \frac{303,872}{2,5} = 121,548 \text{ ton} \end{aligned}$$

3.4 Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Berdasarkan Data CPT Menggunakan Metode Converse-Labarre

A. Metode Meyerhof (CPT)

a) Diameter 30 cm dengan data CPT

Qijin Tunggal = 82,344 Ton

Efisiensi Tiang Pancang kelompok

$$\theta = \operatorname{Arctg} \frac{d}{s}$$

$$= \operatorname{Arctg} \frac{30}{1000} = 1,72^\circ$$

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

$$= 1 - \left(\frac{1,72}{90} \right) \left(\frac{(4-1)10 + (10-1)4}{10 \cdot 4} \right)$$

$$= 0,968$$

Daya dukung tiang kelompok

$$Qg = Eg \times n \times Qa$$

$$= 0,968 \times 40 \times 82,344 \text{ Ton}$$

$$= 3188,359 \text{ ton}$$

b) Diameter 40 cm dengan data CPT

$Q_{ijin} \text{ Tunggal} = 136,459 \text{ Ton}$

Efisiensi Tiang Pancang kelompok

$$\theta = \operatorname{Arctg} \frac{d}{s}$$

$$= \operatorname{Arctg} \frac{40}{1000} = 2,29^\circ$$

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

$$= 1 - \left(\frac{2,29}{90} \right) \left(\frac{(4-1)10 + (10-1)4}{10 \cdot 4} \right)$$

$$= 0,958$$

Daya dukung tiang kelompok

$$Qg = Eg \times n \times Qa$$

$$= 0,958 \times 40 \times 136,459 \text{ Ton}$$

$$= 5229,109 \text{ ton}$$

B. Metode Aoki De Alencar (CPT)

a) Diameter 30 cm dengan data CPT

$Q_{ijin} \text{ Tunggal} = 48,605 \text{ Ton}$

Efisiensi Tiang Pancang kelompok

$$\theta = \operatorname{Arctg} \frac{d}{s}$$

$$= \operatorname{Arctg} \frac{30}{1000} = 1,72^\circ$$

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

$$= 1 - \left(\frac{1,72}{90} \right) \left(\frac{(4-1)10 + (10-1)4}{10 \cdot 4} \right)$$

$$= 0,968$$

Daya dukung tiang kelompok

$$Qg = Eg \times n \times Qa$$

$$= 0,968 \times 40 \times 48,605 \text{ Ton}$$

$$= 1881,986 \text{ ton}$$

b) Diameter 40 cm dengan data CPT

$Q_{ijin} \text{ Tunggal} = 72,312 \text{ Ton}$

Efisiensi Tiang Pancang kelompok

$$\theta = \operatorname{Arctg} \frac{d}{s}$$

$$= \operatorname{Arctg} \frac{40}{1000} = 2,29^\circ$$

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

$$= 1 - \left(\frac{2,29}{90} \right) \left(\frac{(4-1)10 + (10-1)4}{10 \cdot 4} \right)$$

$$= 0,958$$

Daya dukung tiang kelompok

$$Qg = Eg \times n \times Qa$$

$$= 0,958 \times 40 \times 72,312 \text{ Ton}$$

$$= 2770,996 \text{ ton}$$

3.5 Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Berdasarkan Data SPT Menggunakan Metode Converse-Labarre

A. Metode Meyerhof SPT (BH-1)

a) Diameter 30 cm dengan data SPT (BH-1)

$Q_{ijin} \text{ Tunggal} = 80,242 \text{ Ton}$

Efisiensi Tiang Pancang kelompok

$$\theta = \operatorname{Arctg} \frac{d}{s}$$

$$= \operatorname{Arctg} \frac{30}{1000} = 1,72^\circ$$

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

$$= 1 - \left(\frac{1,72}{90} \right) \left(\frac{(4-1)10 + (10-1)4}{10 \cdot 4} \right)$$

$$= 0,968$$

Daya dukung tiang kelompok

$$Qg = Eg \times n \times Qa$$

$$= 0,968 \times 40 \times 80,242 \text{ Ton}$$

$$= 3106,970 \text{ ton}$$

b) Diameter 40 cm dengan data SPT (BH-1)

$Q_{ijin} \text{ Tunggal} = 121,548 \text{ Ton}$

Efisiensi Tiang Pancang kelompok

$$\theta = \operatorname{Arctg} \frac{d}{s}$$

$$= \operatorname{Arctg} \frac{40}{1000} = 2,29^\circ$$

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

$$= 1 - \left(\frac{2,29}{90} \right) \left(\frac{(4-1)10 + (10-1)4}{10 \cdot 4} \right)$$

$$= 0,958$$

Daya dukung tiang kelompok

$$Qg = Eg \times n \times Qa$$

$$= 0,958 \times 40 \times 121,548 \text{ Ton}$$

$$= 4657,719 \text{ ton}$$

3.6 Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Berdasarkan Data CPT Menggunakan Metode Los Angeles Group

A. Metode Meyerhof(CPT)

a) Diameter 30 cm dengan data CPT

$Q_{ijin} \text{ Tunggal} = 82,344 \text{ Ton}$

Efisiensi Tiang Pancang kelompok

$$Eg = 1 - \frac{d}{(\pi \cdot s \cdot m \cdot n)} [m \cdot (n-1) + s \sqrt{(2(m-1)(n-1))}]$$

$$= 1 - \frac{30}{(\pi \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 4)} [10 \cdot (4-1) + 1000 \sqrt{(2(10-1)(4-1))}]$$

$$= 0,975$$

Daya dukung tiang kelompok

$$Qg = Eg \times n \times Qa$$

$$= 0,975 \times 40 \times 82,344 \text{ Ton}$$

$$= 3211,416 \text{ ton}$$

b) Diameter 40 cm dengan data CPT

$$Q_{ijin} \text{ Tunggal} = 136,459 \text{ Ton}$$

Efisiensi Tiang Pancang kelompok

$$\begin{aligned} Eg &= 1 - \frac{d}{(\pi \cdot s \cdot m \cdot n)} [m \cdot (n-1) + s\sqrt{(2(m-1)(n-1))}] \\ &= 1 - \frac{40}{(\pi \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 4)} [10 \cdot (4-1) + 1000\sqrt{(2(10-1)(4-1))}] \\ &= 0,967 \end{aligned}$$

Daya dukung tiang kelompok

$$\begin{aligned} Qg &= Eg \times n \times Qa \\ &= 0,967 \times 40 \times 136,459 \text{ Ton} \\ &= 5278,234 \text{ ton} \end{aligned}$$

B. Metode Aoki De Alencar (CPT)

a) Diameter 30 cm dengan data CPT

$$Q_{ijin} \text{ Tunggal} = 48,605 \text{ Ton}$$

Efisiensi Tiang Pancang kelompok

$$\begin{aligned} Eg &= 1 - \frac{d}{(\pi \cdot s \cdot m \cdot n)} [m \cdot (n-1) + s\sqrt{(2(m-1)(n-1))}] \\ &= 1 - \frac{30}{(\pi \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 4)} [10 \cdot (4-1) + 1000\sqrt{(2(10-1)(4-1))}] \\ &= 0,975 \end{aligned}$$

Daya dukung tiang kelompok

$$\begin{aligned} Qg &= Eg \times n \times Qa \\ &= 0,975 \times 40 \times 48,605 \text{ Ton} \\ &= 1895,595 \text{ ton} \end{aligned}$$

b) Diameter 40 cm dengan data CPT

$$Q_{ijin} \text{ Tunggal} = 72,312 \text{ Ton}$$

Efisiensi Tiang Pancang kelompok

$$\begin{aligned} Eg &= 1 - \frac{d}{(\pi \cdot s \cdot m \cdot n)} [m \cdot (n-1) + s\sqrt{(2(m-1)(n-1))}] \\ &= 1 - \frac{40}{(\pi \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 4)} [10 \cdot (4-1) + 1000\sqrt{(2(10-1)(4-1))}] \\ &= 0,967 \end{aligned}$$

Daya dukung tiang kelompok

$$\begin{aligned} Qg &= Eg \times n \times Qa \\ &= 0,967 \times 40 \times 72,312 \text{ Ton} \\ &= 2797,028 \text{ ton} \end{aligned}$$

3.7 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Berdasarkan Data SPT Menggunakan Metode Los Angeles Group

A. Metode Meyerhof SPT (BH-1)

a) Diameter 30 cm dengan data SPT (BH-1)

$$Q_{ijin} \text{ Tunggal} = 80,242 \text{ Ton}$$

Efisiensi Tiang Pancang kelompok

$$\begin{aligned} Eg &= 1 - \frac{d}{(\pi \cdot s \cdot m \cdot n)} [m \cdot (n-1) + s\sqrt{(2(m-1)(n-1))}] \\ &= 1 - \frac{30}{(\pi \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 4)} [10 \cdot (4-1) + 1000\sqrt{(2(10-1)(4-1))}] \\ &= 0,975 \end{aligned}$$

Daya dukung tiang kelompok

$$\begin{aligned} Qg &= Eg \times n \times Qa \\ &= 0,975 \times 40 \times 80,242 \text{ Ton} \\ &= 3129,438 \text{ ton} \end{aligned}$$

b) Diameter 40 cm dengan data SPT (BH-1)

$$Q_{ijin} \text{ Tunggal} = 121,548 \text{ Ton}$$

Efisiensi Tiang Pancang kelompok

$$\begin{aligned} Eg &= 1 - \frac{d}{(\pi \cdot s \cdot m \cdot n)} [m \cdot (n-1) + s\sqrt{(2(m-1)(n-1))}] \\ &= 1 - \frac{40}{(\pi \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 4)} [10 \cdot (4-1) + 1000\sqrt{(2(10-1)(4-1))}] \\ &= 0,967 \end{aligned}$$

Daya dukung tiang kelompok

$$\begin{aligned} Qg &= Eg \times n \times Qa \\ &= 0,967 \times 40 \times 121,548 \text{ Ton} \\ &= 4701,476 \text{ ton} \end{aligned}$$

II. KESIMPULAN

Dengan berdasarkan hasil dan pembahasan dari perhitungan yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Daya dukung ijin pondasi tiang pancang Berdasarkan data CPT titik Sondir 1 dan SPT BH 1 adalah sebagai berikut:

- Berdasarkan perhitungan dengan metode Meyerhof (CPT) diperoleh daya dukung ijin sebesar Q_{ijin} 82,344 ton untuk diameter 30 cm dan Q_{ijin} 132,459 ton untuk diameter 40 cm.
- Dengan metode Aoki De Alencar (CPT), daya dukung ijin lebih rendah yaitu Q_{ijin} 48,605 ton untuk diameter 30 cm dan Q_{ijin} 72,312 ton untuk diameter 40 cm.
- Hasil perhitungan dengan data (SPT) menunjukkan nilai mendekati hasil Meyerhof (CPT), yaitu Q_{ijin} 80,242 ton untuk diameter 30 cm dan Q_{ijin} 121,548 ton untuk diameter 40 cm.

2. Metode Meyerhof berdasarkan data CPT memberikan nilai daya dukung ijin lebih besar dibandingkan metode Aoki De Alencar, yaitu diperoleh daya dukung ijin sebesar Q_{ijin} 82,344 ton untuk diameter 30 cm dan Q_{ijin} 132,459 ton untuk diameter 40 cm dan metode Aoki De Alencar (CPT), daya dukung ijin lebih rendah yaitu Q_{ijin} 48,605 ton untuk diameter 30 cm dan Q_{ijin} 72,312 ton untuk diameter 40 cm, terdapat peningkatan daya dukung ijin seiring dengan bertambahnya diameter tiang pancang.

3. Daya dukung pondasi tiang pancang kelompok Berdasarkan data yang didapat dari perhitungan tiang tunggal dengan metode Meyerhof dan Aoki de Alencar adalah sebagai berikut :

- a. Dengan metode Converse-Labarre, daya dukung ijin tertinggi diperoleh dari perhitungan Meyerhof (CPT) sebesar Qijin 5229,109 ton untuk diameter 40 cm, sedangkan daya dukung ijin terendah diperoleh dari metode Aoki De Alencar (CPT) sebesar Qijin 1881,986 ton untuk diameter 30 cm dan Qijin 2770,996 ton untuk diameter 40 cm.
- b. Dengan metode Los Angeles Group-Action Formula, hasil perhitungan menunjukkan nilai daya dukung ijin relatif lebih realistis, dimana metode Meyerhof (CPT) memberikan Qijin 3211,416 ton untuk diameter 30 cm dan Qijin 5278,234 ton untuk diameter 40 cm sedangkan metode Aoki De Alencar (CPT) lebih kecil dengan 1895,595 ton untuk diameter 30 cm dan 2797,028 ton untuk diameter 40 cm.
- c. Hasil perhitungan dengan data SPT menunjukkan konsistensi dengan metode Meyerhof CPT, yaitu 3106,970 ton untuk metode Converse-Labarre untuk diameter 30 cm dan 3129,438 ton untuk metode Los Angeles Group untuk diameter 30 cm, serta 4657,719 ton untuk metode Converse-Labarre dan 4701,476 ton untuk metode Los Angeles Group dengan diameter 40 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Simarmata, P. & Sari, K. I., 2023. *Analisis daya dukung pondasi tiang pancang menggunakan data sondir dan SPT pada pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Ciputat Timur, Tangerang Selatan, Banten*. Skripsi / Artikel (terbit di *Buletin Utama Teknik*, Vol. 19(1), hlm. 20–26). Universitas Harapan Medan / Buletin Utama Teknik.
- [2]. Tomlinson, M.J. & Woodward, J., 2008. *Pile Design and Construction Practice (5th ed.)*. London: Taylor & Francis.
- [3]. Susanto, A., 2019. *Perencanaan ulang fondasi tiang pancang (Studi kasus)*. Prosiding Seminar Nasional RAPI XVIII FT UMS, 82-87. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [4]. Mina, E., Kusuma, R. I., & Mahardika, E. P. 2022. *Analisis daya dukung dan penurunan pondasi tiang berdasarkan data Standard Penetration Test (SPT) dan Cone Penetration Test (CPT): Studi Kasus East Cross Taxiway Bandara Internasional Soekarno–Hatta*. Jurnal Fondasi: Jurnal Teknik Sipil, 7(2), 55–63. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [5]. *Analisis daya dukung pondasi tiang pancang pada proyek pembangunan Pondasi Tissue Block 5 dan 6*. (tanpa nama penulis/jika tidak ada). *Prosiding / Laporan Proyek / Research Report*, Tahun.
- [6]. *Kapasitas daya dukung tiang pancang dari hasil sondir*. 2013. Jurnal Teknik Sipil.
- [7]. *Capacity of Group of Piles (n.d.)*. Slide presentasi: Capacity of Group Piles (Converse–Labarre formula).
- [8]. Bowles, J. E. 1996. *Foundation Analysis and Design (5th ed.)*. New York: McGraw-Hill.
- [9]. Simanjuntak, W., 2023) *Analisis daya dukung pondasi tiang pancang pada proyek pembangunan gedung kuliah terpadu Politeknik Pariwisata Palembang* [Skripsi, Universitas Medan Area].