

PERENCANAAN PONDASI TIANG PADA TANAH LEMPUNG

*Nuryanto*¹
*Sri Wulandari*²

^{1,2}*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Gunadarma*

¹*nuryanto_n@student.gunadarma.ac.id*

²*sri_wulandari.staff.gunadarma.ac.id*

Abstrak

Dalam setiap pembangunan suatu proyek konstruksi dibutuhkan perencanaan struktur yang kuat, aman, dan nyaman. Salah satu bagian bangunan untuk mendukung hal tersebut adalah pondasi. Perencanaan pondasi tiang harus dilakukan dengan teliti dan secermat mungkin. Setiap pondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merencanakan pondasi tiang dari tipe pondasinya, kedalaman dan dimensi, kapasitas dukung sampai perancangan struktur pondasi dari karakteristik tanah dan beban kolom. Karakteristik jenis tanah pada proyek pembangunan apartemen Margonda Residences III ini adalah tanah butir halus, dengan kedalaman tanah keras lebih dari 12 m. Perhitungan daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang menggunakan metode Tomlinson. Perhitungan penurunan tiang tunggal menggunakan metode semi empiris dan penurunan kelompok tiang menggunakan metode empiris yang dikeluarkan oleh Meyerhof. Penurunan pondasi tiang tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil penurunan yang diperoleh dengan menggunakan program Plaxis. Penulangan pondasi mengacu pada SNI 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh dimensi pondasi tiang bor dengan diameter 1 m serta panjang tiang 22 m. Daya dukung terbesar adalah sebesar 265,974 ton. Penurunan terbesar yang terjadi adalah sebesar 0,06 m. Sedangkan penurunan menggunakan menggunakan program Plaxis adalah sebesar 0,1 m. Terdapat perbedaan perhitungan sebesar 0,04 m antara manual dan Plaxis, dikarenakan keakuratan dalam pengolahan data. Pondasi menggunakan tulangan 25D20 untuk tulangan longitudinal dan D13 – 50 untuk tulangan geser. Tebal pile cap yang digunakan berukuran 1 m serta menggunakan tulangan antara D32 – 60 sampai D32 – 230.

Kata kunci: pondasi tiang, daya dukung, penurunan pondasi.

PENDAHULUAN

Di daerah perkotaan, terutama di kota-kota besar di Indonesia, pertumbuhan penduduk sangat sulit untuk dibendung yang mengakibatkan kebutuhan akan lahan semakin meningkat. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, kemajuan jaman maupun perkembangan pembangunan yang selanjutnya mengakibatkan semakin sempitnya

lahan yang tersedia. Hal ini terjadi karena ketersediaan lahan yang ada tetap, sementara pertumbuhan penduduk maupun kebutuhan lahan untuk tempat tinggal maupun lokasi pembangunan yang tersedia semakin sempit yang mengakibatkan harga jual tanah menjadi mahal, sehingga dengan alasan efisiensi, maka kebanyakan struktur berupa gedung-gedung dibangun secara bertingkat. Perkem-

bangun struktur bangunan gedung di kota umumnya dikembangkan ke arah vertikal.

Secara umum pondasi tiang merupakan elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban pada tanah, baik beban dalam arah vertikal maupun arah horizontal. Pemakaian pondasi tiang pada suatu bangunan, apabila tanah dasar dibawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya tetapi letaknya sangat dalam. (Sardjono HS).

Tujuan penulisan ini adalah untuk merencanakan pondasi dalam/pondasi tiang dengan menggunakan metode-metode yang disesuaikan dengan kondisi tanah. Untuk merencanakan desain pondasi tiang ini selain dengan menggunakan model tanah *Mohr Coulomb* (Plaxis), juga dengan pendekatan secara statis atau perhitungan manual dengan menggunakan metode dari Tomlinson.

METODE PENELITIAN

Perencanaan pondasi tiang merupakan suatu hal yang kompleks dan membutuhkan waktu yang lama. Maka dari itu metode perencanaan harus membuat perencanaan pondasi tiang menjadi lebih mudah, cepat dan efisien.

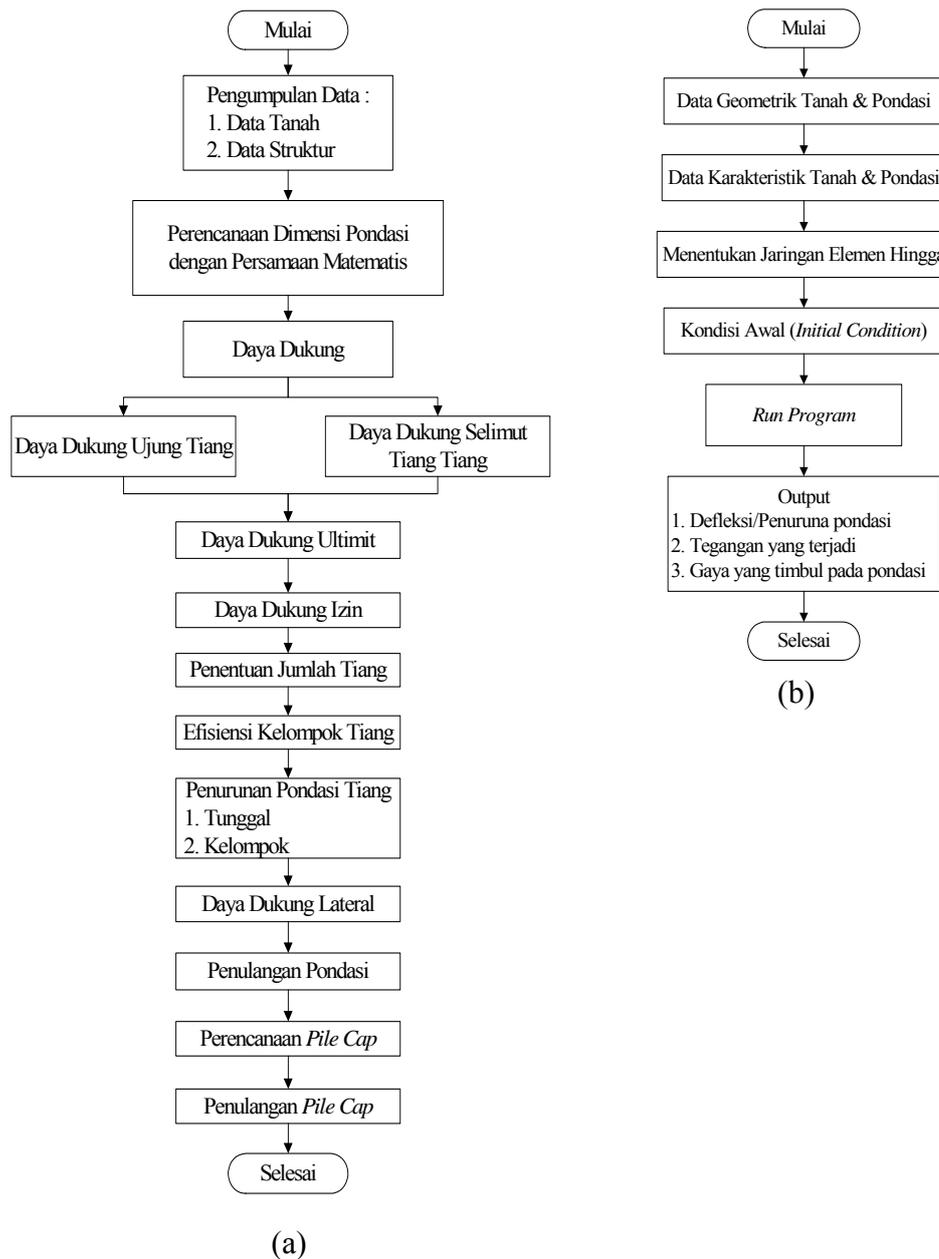
Pada diagram alir dibawah ini akan dijelaskan metode perencanaan pondasi tiang dengan menggunakan metode model tanah *Mohr Coulomb* (Plaxis) dan metode statik.

Metode tomlinson

Metode Tomlinson adalah metode yang digunakan untuk perencanaan pondasi pada tanah kohesif berdasarkan nilai undrained shear strength (C_u) dari tanah lempung. Harga C_u ini dapat diperoleh dari uji laboratorium triaxial dan korelasi dari uji lapangan seperti N-SPT maupun q_c sondir.

Model tanah *Mohr Coulomb*

Model *Mohr Coulomb* mengasumsikan perilaku tanah bersifat plastis sempurna, dengan menetapkan suatu nilai tegangan batas dimana pada titik tersebut tegangan tidak lagi dipengaruhi oleh regangan. Input parameter meliputi 5 buah parameter yaitu modulus Young (E), rasio Poisson (ν), kohesi (c), sudut geser (ϕ), dan sudut dilatansi (Ψ). Pada pemodelan *Mohr-Coulomb* umumnya dianggap bahwa nilai E konstan untuk suatu kedalaman pada suatu jenis tanah, namun jika diinginkan adanya peningkatan nilai E per kedalaman tertentu disediakan input tambahan dalam program Plaxis (Brinkgreve, R.B.J. 2007. *PLAXIS 2D – Versi 8*).



Gambar 1 a) Diagram Alir Desain Pondasi Tiang dengan Cara Manual
b) Diagram Alir Desain Pondasi Tiang dengan Plaxis

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Pondasi Tiang

1. Daya Dukung Pondasi Tiang

Pada perhitungan daya dukung pondasi tiang ini menggunakan metode berdasarkan hasil uji laboratorium. Menggunakan nilai *undrain shear strength* tanah di ujung tiang (C_u) yang disarankan oleh Tomlinson (1975).

Berikut ini contoh perhitungan daya dukung pondasi tiang berdasarkan data *bore hole* 1 titik C'7'.

Perhitungan daya dukung ujung tiang.

$$\begin{aligned}
 Q_p &= A_p \cdot N_c' \cdot c \\
 &= \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot 9 \cdot 11,7 \\
 &= \frac{1}{4} 3,14 D^2 \cdot 105,3 \\
 &= 82,661 D^2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Perhitungan daya dukung selimut tiang untuk lapisan pertama dengan kedalaman 2,5 m.

$$\begin{aligned} Q_{s1} &= f \cdot A_s \\ &= C_u \cdot \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot L \\ &= 2,1 \cdot 1,25 \cdot 3,14 \cdot D \cdot 2,5 \\ &= 20,606 D \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 1.
Daya Dukung Selimut Per Lapisan

Lapisan	Kedalaman (m)	Daya Dkung Selimut (ton)
1	0-2,5	20,606 D
2	2,5-7	53,969 D
3	7-10,5	37,091 D
4	10,5-14	64,566 D
5	14-18	114,610 D
6	18-22	183,690 D

Sumber : Hasil Perhitungan

Jadi daya dukung selimut tiang total adalah,

$$\begin{aligned} \sum Q_s &= Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + \\ Q_{s6} &= 20,606 D + 53,969 D + \\ &37,091 + 64,566 D + 114,610 D + \\ &183,690 D \\ &= 474,533 D \text{ ton} \end{aligned}$$

Perhitungan dimensi pondasi terhadap gaya kolom K1 = 1000 mm x 400 mm sebesar = 966,967 ton, dan karakteristik tanah pada *bore hole* 1

$$\begin{aligned} P &= Q_p + Q_s - W_p \\ &= 82,661 D^2 + 474,533 D - \frac{1}{4} \cdot \\ &3,14 \cdot D^2 \cdot 22 \cdot 2,4 \\ &= 82,661 D^2 + 474,533 D - \\ &41,448 D^2 \\ P &= 41,213 D^2 + 474,533 D \\ 966,967 &= 41,213 D^2 + 474,533 D \\ D &= 0,964 \text{ m} = 1,766 \text{ meter} \end{aligned}$$

Jadi, dalam perencanaan pondasi ini digunakan pondasi tiang bor dengan diameter 1 meter dari beban maksimum pada *bore hole* 1.

Daya dukung ultimit pondasi tiang

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + \sum Q_s - W_p \\ Q_u &= 82,661 D^2 + 474,533 D \\ &- \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot D^2 \cdot 22 \cdot 2,4 \\ &= 82,661 D^2 + 474,533 D - \\ &41,448 D^2 \\ Q_u &= 515,745 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung Ijin pondasi tiang

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{515,745}{2,5} = 206,298 \text{ ton} \end{aligned}$$

Jumlah pondasi tiang

$$n = \frac{P}{Q_a} = n = \frac{495,490}{206,298} \approx 3$$

2. Perhitungan Penurunan Pondasi (Settlement)

a. Penurunan sepanjang tiang (s_1)

$$\begin{aligned} s_1 &= \frac{(Q_p + \xi \cdot Q_s) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \\ &= \frac{(82,661 + 0,5 \cdot 474,533) \cdot 22}{0,785 \cdot 2396295} \\ &= 0,00374 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Penurunan tiang akibat beban pada ujung tiang (s_2)

$$\begin{aligned} s_2 &= \frac{q_b \cdot D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \\ &= \frac{105,31}{2109,21} (1 - 0,3^2) \cdot 0,88 \\ &= 0,0399 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Penurunan tiang akibat beban yang diteruskan sepanjang tiang (s_3)

$$\begin{aligned} s_3 &= \left(\frac{Q_s}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws} \\ &= \left(\frac{474,53}{3,14 \cdot 22} \right) \frac{1}{2109,21} (1 - 0,3^2) \cdot 3,64 \\ &= 0,01 \text{ m} \end{aligned}$$

d. Penurunan kelompok tiang

$$\delta = \frac{0,17 \cdot B_r \cdot q_e' \cdot I \sqrt{B_g / B_r}}{\sigma_r \cdot N_{60}'}$$

$$= \frac{0,17 \cdot 0,3 \cdot 30,968 \cdot 0,5 \sqrt{3,5 / 0,3}}{9,76 \cdot 60}$$

$$= 0,006 \text{ m}$$

3. Perhitungan Daya Dukung Tiang Terhadap Beban Lateral

Perhitungan beban lateral yang digunakan dalam penulisan ini adalah dengan metode *Evans and Duncan's* (1982).

a. Daya dukung lateral tiang tunggal

Diketahui:

$\lambda = 1$, untuk tanah lempung dan pasir

$B = 39,370 \text{ in}$

$E = 3,37\text{E}+06$

$R_1 = 1$

$\epsilon_{50} = 0,001$, untuk tanah lempung

$c_u = 2,365 \text{ lb/in}^2$

Untuk tanah berbutir halus maka,

$\sigma_p = 4,2 \cdot c_u$

$= 4,2 \cdot 2,365$

$= 9,934 \text{ lb/in}^2$

$$V_c = \lambda \cdot B^2 \cdot E \cdot R_1 \left(\frac{\sigma_p}{E \cdot R_1} \right)^m (\epsilon_{50})^n$$

$$= 1 \cdot 39,370^2 \cdot 3,37 \cdot 10^6 \cdot 1 \left(\frac{9,934}{3,37 \cdot 10^6 \cdot 1} \right)^{0,683} (0,001)^n$$

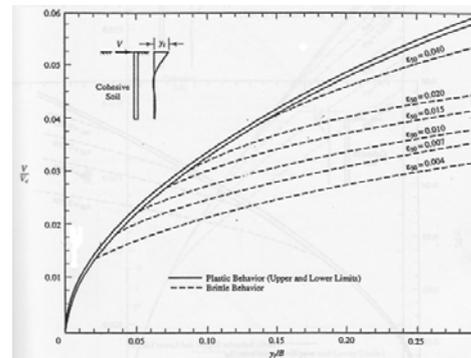
$$= 3,987 \cdot 10^6 \text{ lb}$$

$$M_c = \lambda \cdot B^2 \cdot E \cdot R_1 \left(\frac{\sigma_p}{E \cdot R_1} \right)^m (\epsilon_{50})^n$$

$$= 1 \cdot 39,370^2 \cdot 3,37 \cdot 10^6 \cdot 1 \left(\frac{9,934}{3,37 \cdot 10^6 \cdot 1} \right)^{0,46} (0,001)^n$$

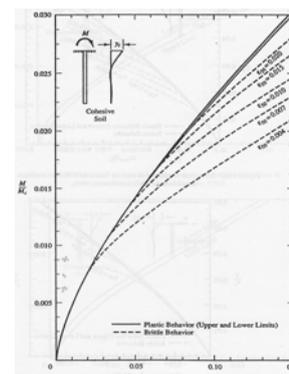
$$= 1,656 \cdot 10^9 \text{ lb.in}$$

Setelah nilai V_c dan M_c diketahui, maka nilai V dan M pada pondasi dapat diperoleh dengan melihat grafik-grafik pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. *Shear Load vs Lateral Deflection Curves for Free-head Condition in Cohesive Soil*

Sumber : Evans and Duncan (1982)



Gambar 3. *Shear Load vs Maximum Moment Curves for Free-head Condition in Cohesive Soil*

Sumber : Evans and Duncan (1982)

Dengan memasukkan nilai defleksi tiang sebesar 0,25 in, maka diperoleh nilai $y/B = 0,00635$. Nilai tersebut kemudian di *plot* ke Gambar 1 dan Gambar 2 sehingga diperoleh nilai $V/V_c = 0,005$ dan nilai $M/M_c = 0,0025$.

Maka,

$$\frac{V}{V_c} = 0,005$$

$$V = 0,005 \cdot 3,987 \cdot 10^6 \quad \text{dan}$$

$$= 1,994 \cdot 10^4 \text{ lb}$$

$$= 9,968 \text{ ton}$$

$$\frac{M}{M_c} = 0,0025$$

$$M = 0,010 \cdot 1,656 \cdot 10^9$$

$$= 4,141 \cdot 10^6 \text{ lb}$$

$$= 47,33 \text{ ton}$$

Daya dukung lateral kelompok tiang dapat diperoleh melalui persamaan,

$$V_g = n \cdot V$$

Jumlah tiang pada kelompok tiang $n = 3$ buah

Daya dukung lateral tiang tunggal $V = 9,968 \text{ ton}$

$$V_g = n \cdot V$$

$$= 3 \cdot 9,968$$

$$= 29,905 \text{ ton}$$

Untuk pengaruh momen dalam kelompok tiang, dapat diperoleh melalui persamaan,

$$M_g = \sum P_i \cdot r_i$$

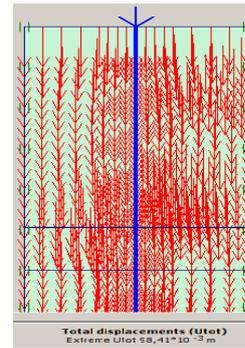
$$= (P_1 \cdot r_1) + (P_2 \cdot r_2) + (P_3 \cdot r_3)$$

$$= (206,298 \cdot 1,44) + (206,298 \cdot 1,44) + (206,298 \cdot 1,44)$$

$$= 893,373 \text{ ton.m}$$

4. Analisis Pondasi Tiang Dengan Plaxis Menggunakan Pemodelan Tanah Mohr-Coulomb.

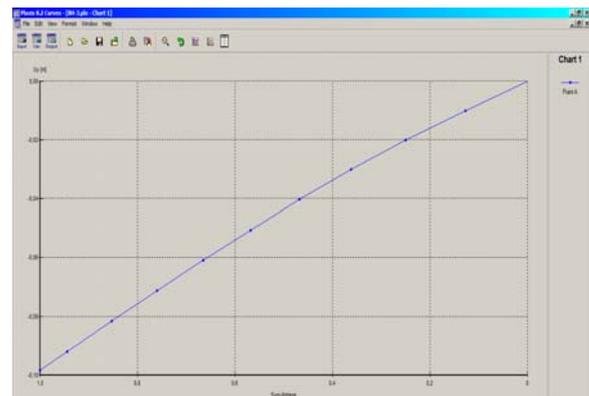
Analisis dengan program Plaxis digunakan untuk mendapatkan nilai deformasi (penurunan) pondasi tiang-rakit yang terjadi akibat beban yang bekerja pada pondasi tersebut. Selain itu, dapat pula diperoleh tegangan-tegangan yang terjadi akibat beban tersebut dan gaya-gaya yang timbul pada pondasi.



Gambar 4. *Output Deformation*

Sumber : Hasil keluaran plaxis

Pada Gambar 4, terlihat bahwa penurunan yang terjadi akibat beban vertikal sebesar 2302,41 kN adalah sebesar 0,05841 m = 5,841 cm. Penurunan yang terjadi akibat pembebanan juga dapat dilihat pada jendela *Plaxis Curves* berikut ini.



Gambar 5. Grafik Penurunan vs Beban

Sumber : Hasil keluaran plaxis

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara penurunan dan pembebanan, semakin bertambah beban yang bekerja pada pondasi, maka penurunannya akan semakin besar.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan,

1. Dari hasil perhitungan, diperoleh desain dimensi pondasi tiang dengan diameter 1 meter dan panjang tiang

22 meter, dengan daya dukung pondasi tiang bor sebesar 2062,98 ton sampai 2659,74 ton. Penurunan pondasi tiang bor tunggal sebesar 0,058 meter sampai 0,117 meter. Sedangkan untuk penurunan kelompok tiang diperoleh penurunan terbesar sebesar 0,0117 meter.

2. Hasil perhitungan dengan menggunakan program Plaxis, diperoleh penurunan pondasi tiang bor sebesar 0,0584 meter sampai 0,1165 meter. Terdapat perbedaan hasil perhitungan penurunan pondasi dengan cara manual dan hasil hitungan Plaxis sebesar 2% sampai 33 %. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh daya dukung lateral tiang bor sebesar 9,968 ton sampai 19,47 ton. Defleksi yang terjadi akibat beban lateral adalah sebesar $\frac{1}{4}$ inch atau 0,00635 meter.
3. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh dimensi *pile cap* yang bervariasi pada setiap titik pondasi yaitu dengan panjang dan lebar antara 2 meter sampai 5,25 meter dengan tebal *pile cap* 1 meter.

Saran

Program yang digunakan sebaiknya di pahami terlebih dahulu agar lebih mudah menganalisa. Dalam pengujian laboratorium sebaiknya dilakukan sampai kedalaman pondasi yang direncanakan, agar data karakteristik tanah yang didapat lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Brinkgreve, R.B.J. 2007. *PLAXIS 2D – Versi 8*. Belanda: Penerbit PLAXIS b.v.
- Duncan, J.M. and Evans. L.T. 1982. *Simplified analysis of laterally loaded piles*. University of California: Department of Civil Engineering.
- Meyerhof, G.G. 1976. *Bearing capacity and settlement of pile foundation*, Jurnal of Geotechnical Engineering Division, Proceedings, ASCE, v. 102, no. GT3, pp. 197-228.
- Sardjono, H.S. 1991. *Pondasi tiang pancang II*, Surabaya: Sinar Wijaya.
- Tomlinson, M.J. 1975. *Pile design and construction practice*. London: A Viewpoint Publication.