

PERENCANAAN FONDASI TIANG BOR PADA TANAH LANAU UNTUK GEDUNG APARTEMEN 20 LANTAI

Tati Noviati

Teknik Sipil, tatinoviati@staff.gunadarma.ac.id, Universitas Gunadarma

ABSTRACT

Foundation is the part of the construction that transmits the load of the superstructure supported by the foundation with its own weight into the soil and rock that lies below it. The purpose of bored pile foundation planning is to design the dimensions of the foundation in the apartment building, calculate the axial and lateral bearing capacity, calculate settlement, calculate the reinforcement used and calculate the cost required for the construction of the bored pile foundation. The bored pile foundation in the apartment building used a circular foundation with a diameter of 0,5 meters which has a depth of 21 meters and located on sandy soil. The axial end bearing capacity of the bored pile uses the Reese & Wright method with a calculated value of 70,450 tons and the ultimate pile bearing capacity of 451,766 tons. Lateral bearing capacity of a single pile using the Evans and Duncan method is 16,359 tons and the maximum lateral bearing capacity of the group is 36,809 tons and the maximum deflection value is 1,419 mm. The bored pile foundation based on the calculation results refers to SNI 2847:2013 concerning Requirements for Structural Concrete for Buildings, for longitudinal reinforcement using 7D19 reinforcement and for spiral reinforcement using D16-40 reinforcement. The budget plan for the foundation and pile cap is Rp. 10.704.000.000.

Keywords: Bored pile foundation, Foundation bearing capacity, RAB.

ABSTRAK

Fondasi merupakan bagian konstruksi yang meneruskan beban struktur atas yang ditopang oleh fondasi dengan beratnya sendiri ke dalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya. Tujuan dari perencanaan fondasi tiang bor adalah untuk mendesain dimensi fondasi pada gedung apartemen, menghitung daya dukung aksial dan lateral, menghitung penurunan, menghitung tulangan yang dipakai serta menghitung biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan fondasi tiang bor. Perencanaan fondasi tiang bor pada gedung apartemen menggunakan fondasi berbentuk lingkaran dengan diameter 0,5 meter yang memiliki kedalaman 21 meter dan terletak pada tanah lanau. Kapasitas daya dukung aksial ujung tiang bor menggunakan metode Reese & Wright dengan nilai hasil perhitungan didapat sebesar 70,450 ton dan daya dukung ultimit tiang sebesar 451,766 ton. Kapasitas dukung lateral tiang tunggal menggunakan metode Evans dan Duncan didapat sebesar 16,359 ton dan kapasitas lateral kelompok maksimum didapat sebesar 36,809 ton serta nilai defleksi maksimum didapat sebesar 1,419 mm. Fondasi tiang bor berdasarkan hasil perhitungan yang mengacu pada SNI 2847:2013 tentang persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, pada tulangan logitudinal menggunakan tulangan 7D19 dan pada tulangan pengikat spiral menggunakan tulangan D16-40. Rencana anggaran biaya pada fondasi beserta *pile cap* sebesar Rp 10.704.000.000.

Kata Kunci: Fondasi tiang bor, Daya dukung fondasi, RAB.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan penduduk di kota semakin bertambah di setiap tahunnya, hal ini mengakibatkan kurangnya ketersediaan lahan untuk tempat tinggal. Perkembangan penduduk inilah yang menuntut pembangunan infrastruktur seperti perencanaan gedung bertingkat, yang memerlukan perencanaan dengan teliti dan akurat, perencanaan yang dimaksud adalah perencanaan struktur atas dan struktur bawah.

Perencanaan struktur bawah terdapat fondasi yang merupakan bagian terendah dari bangunan. Terdapat dua klasifikasi fondasi, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Tiang bor merupakan contoh dari fondasi dalam. Keuntungan dalam pemakaian tiang bor yaitu pemasangan tidak menimbulkan ganguan

suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya, kedalaman tiang dapat divariasikan, tiang bor dapat dipasang menembus batuan serta tidak ada resiko kenaikan muka tanah. Hal ini cocok digunakannya fondasi tiang bor pada daerah yang padat penduduk.

Gedung bertingkat tinggi pada umumnya menggunakan fondasi dalam karena beban yang diperoleh dari superstruktur cukup besar. Dalam perencanaan ini dibangunnya fondasi tiang bor pada proyek pembangunan apartemen di Cinere, Depok. Fondasi tiang bor merupakan jenis fondasi dalam yang berbentuk tabung atau silinder dengan panjang yang bervariasi sekitar 10 – 20 m sampai tanah keras dengan diameter antara 20 – 60 cm, dimana dalam pelaksanaannya dibuat dengan metode pengeboran titik fondasi sampai kedalaman yang direncanakan. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lapangan, perencanaan fondasi tiang bor ditentukan berdasarkan keadaan tanah disekitar konstruksi. Pada saat pengeboran dilakukan, muka air tanah didapat pada kedalaman sekitar -0,5 meter hingga -1,00 meter dari permukaan tanah setempat dan lapisan tanah keras dengan NSPT > 40 didapat sampai kedalaman akhir pekerjaan bor.

2. LANDASAN TEORI

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Braja M. Das, 1995).

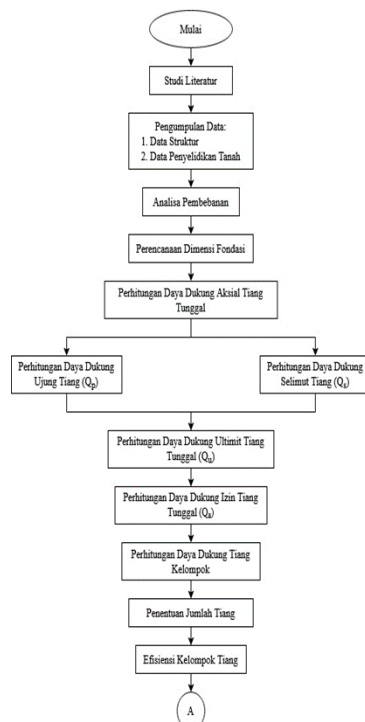
Tanah umumnya terdiri dari tiga komponen utama, yaitu udara, air dan butiran padat. Udara memberi pengaruh sedikit, sehingga tidak memiliki pengaruh sifat teknis tanah, sedangkan air sangat mempengaruhi sifat teknis tanah. Istilah pasir, lempung, lanau atau lempur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Tanah digolongkan menjadi tiga kategori, yaitu tanah non kohesif ialah tanah yang butirannya saling lepas (tidak ada ikatan), tanah kohesif ialah tanah yang butirannya sangat halus dan saling mengikat, dan tanah organik yang memiliki ciri tanahnya remah dan mudah ditekan (*compressible*), serta tanah organik ialah tanah yang tidak baik untuk dasar bangunan.

Penyelidikan tanah merupakan peran yang sangat penting sebelum dilakukannya pembuatan fondasi, karena dengan penyelidikan tanah dapat mengetahui jenis fondasi apa yang akan dipakai untuk membangun gedung bertingkat. Tujuan dari penyelidikan tanah pada perencanaan fondasi yaitu menentukan sifat-sifat tanah yang terkait dengan perencanaan gedung bertingkat, menentukan kapasitas dukung tanah, menentukan tipe dan kedalaman fondasi, mengetahui posisi muka air tanah, memprediksikan besarnya penurunan dan lain sebagainya.

Fondasi dalam didefinisikan sebagai fondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras yang terletak relatif jauh dari permukaan tanah. Terdapat beberapa jenis pada fondasi dalam, yaitu fondasi sumuran serta fondasi tiang. Fondasi tiang bor merupakan salah satu jenis dari fondasi dalam. Pemasangan fondasi tiang bor dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu sampai kedalaman tertentu, kemudian dimasukkan tulangan baja yang telah dirangkai kedalam lubang bor dan setelah itu diisi atau dicor dengan beton. Pemakaian fondasi tiang bor dilakukan apabila tanah dasar yang kokoh mempunyai daya dukung yang besar terletak sangat dalam.

3. METODOLOGI PERENCANAAN

Tahapan perencanaan fondasi serta bentuk diagram alir sebagai berikut:



Gambar 1 Tahapan Perencanaan Fondasi Tiang Bor



Gambar 2 Tahapan Perencanaan Fondasi Tiang Bor (Lanjutan)

DATA PERENCANAAN

Data struktur bawah bangunan yang akan digunakan pada perhitungan perencanaan fondasi tiang bor adalah sebagai berikut:

1. Jenis Fondasi : Tiang Bor
2. Kedalaman Fondasi : 21 meter

3. Diameter : 0,5 meter
4. Panjang Tiang : 20 meter
5. Mutu Beton : K-400
6. Data Beban perkolom :

Tabel 1 Data Beban Perkolom

Story	Joint Label	FZ
		ton
Base	9	667,207
Base	10	996,634
Base	13	694,190
Base	14	996,634
Base	17	694,190
Base	18	1605,606

Tabel 2 Data Beban Perkolom (Lanjutan)

Story	Joint Label	FZ
		ton
Base	19	1434,850
Base	20	1082,629
Base	21	1082,629
Base	22	1434,850
Base	23	1605,606
Base	24	1632,450
Base	25	1752,442
Base	26	1743,096
Base	27	1743,096
Base	28	1752,442
Base	29	1632,450
Base	30	1024,456
Base	31	1004,617
Base	32	924,064
Base	33	924,064
Base	34	1004,617
Base	35	1024,456
Base	36	671,787
Base	39	667,207
Base	40	671,787
Base	43	953,916
Base	44	930,556
Base	45	953,916
Base	46	930,556

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal

Menghitung daya dukung aksial menggunakan dimensi 0,5 m dan dengan metode *Reese and Wright* yang dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Daya Dukung Ujung Tiang

Kapasitas dukung tiang, sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tanah. Kapasitas dukung ujung tiang berada pada kondisi tanah non kohesif, berikut uraian rumus dan hasil perhitungannya.

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$Q_p = \frac{2}{3} \times \frac{1}{0,3048^2} \times N \times A_p$$

(untuk $N_{SPT} < 60$)

$$Q_p = \frac{2}{3} \times \frac{1}{0,3048^2} \times 50 \times 0,1963$$

$$= \mathbf{70,450 \text{ ton}}$$

2. Daya Dukung Selimut Tiang

Daya dukung selimut tiang merupakan tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh perlawanan gesekantara tiang fondasi dengan tanahnya, menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = 2 \times \pi \times r$$

$$= 2 \times 3,14 \times 0,25$$

$$= 1,571 \text{ m}$$

$$A = 0,550 \text{ (reese \& wright, 1977)}$$

Kondisi tanah non kohesif:

$$Q_s = 0,32 \times N \times p \times \Delta l$$

(untuk $N_{SPT} < 53$)

Kondisi tanah kohesif:

$$Q_s = C_u \times \alpha \times p \times \Delta l$$

Nilai daya dukung selimut ($Q_{S \text{ total}}$) didapat sebagai berikut.

$$Q_{S \text{ total}} = Q_{S1} + Q_{S2} + Q_{S3} + Q_{S4} + Q_{S5} + Q_{S6} + Q_{S7} + Q_{S8} + Q_{S9} + Q_{S10} + Q_{S11}$$

$$= 1,728 + 18,143 + 12,671 + 13,823 + 13,247 + 67,733 + 35,186 + 33,694 + 75,398 + 71,995 + 37,699$$

$$= \mathbf{381,316 \text{ ton}}$$

3. Daya Dukung Ultimit Tiang

Daya dukung ultimit didapat dari penjumlahan daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q_U = Q_p + Q_s$$

$$= 70,450 + 381,316$$

$$= \mathbf{451,766 \text{ ton}}$$

Daya Dukung Izin Tiang

Perhitungan daya dukung izin tiang didapat dari pembagian daya dukung ultimit dengan faktor keamanan dapat diurai sebagai berikut.

$$Q_{IZIN} = \frac{Q_U}{SF}$$

$$= \frac{451,766}{2,500}$$

$$= \mathbf{180,706 \text{ ton}}$$

Perhitungan Jumlah Tiang

Penentuan jumlah tiang fondasi merupakan hasil pembagian dari beban per kolom dengan daya dukung izin fondasi. Contoh perhitungan menggunakan titik kolom C39 dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{P}{Q_{IZIN}} \\
 &= \frac{667,207}{180,706} \\
 &= 3,692 \approx \mathbf{4 \text{ tiang}}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Jarak Antar Tiang

Perhitungan jarak antar tiang berdasarkan SNI 8460 – 2017 tentang Persyaratan Perencanaan Geoteknik dalam Pasal 9.7.1.2 untuk fondasi tiang berbentuk lingkaran tidak boleh kurang dari 2,5 kali diameter tiang. Uraian perhitungan jarak antar tiang untuk diameter 0,5 m dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 S &= 2,5 \times D \\
 &= 2,5 \times 0,500 \\
 &= \mathbf{1,250 \text{ meter}}
 \end{aligned}$$

Efisiensi Kelompok Tiang

Perhitungan efisiensi kelompok tiang untuk susunan tiang simetris menggunakan metode Converse – Labbare dengan persamaan sebagai berikut.

Efisiensi kelompok fondasi 4 tiang,

$$\begin{aligned}
 \theta &= \arctan \frac{D}{S} \\
 &= \arctan \frac{0,500}{1,250} \\
 &= 21,801 \\
 m &= 2 \text{ baris} \\
 n' &= 2 \text{ buah} \\
 E_g &= 1 - \theta \frac{(n' - 1) \times m + (m - 1) \times n'}{90 \times m \times n'} \\
 &= 1 - 21,801 \frac{(2 - 1) \times 2 + (2 - 1) \times 2}{90 \times 2 \times 2} \\
 &= \mathbf{0,758}
 \end{aligned}$$

Perhitungan efisiensi kelompok tiang untuk susunan tiang tidak simetris menggunakan metode efisien fled yaitu efisiensi kelompok tiang yang mereduksi daya dukung pada setiap kelompok tiang serta mengabaikan jarak antar tiang.

Satu jenis tiang yang berpengaruh:

$$E_g = 1 - \frac{n' - 1}{16}$$

Lebih dari satu jenis tiang yang berpengaruh:

$$E_g = \frac{\sum \left(n' \times \left(1 - \frac{n' - 1}{16} \right) \right)}{n}$$

Daya Dukung Kelompok Tiang

Kapasitas daya dukung kelompok tiang dipengaruhi oleh efisiensi dalam kelompok tiang dengan ketentuan $Q_g > P$, maka uraian perhitungan pada dimensi 0,5 m, titik C39 dapat dilihat sebagai berikut.

$$P_u = 667,207 \text{ ton}$$

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u$$

$$= 0,758 \times 4 \times 451,766$$

$$= 1369,324 \text{ ton}$$

Ketentuan:

$$Q_g > P \dots \text{OK!!}$$

$$\mathbf{1369,324 \text{ ton} > 667,207 \text{ ton, (OK!!)}}$$

Penurunan pada Fondasi Tiang Tunggal

Hitungan penurunan pada fondasi tiang tunggal menggunakan metode semi empiris yang terdapat dibagi menjadi 3 komponen yaitu, penurunan fondasi sepanjang tiang (S_1), penurunan akibat beban pada ujung tiang (S_2), dan penurunan akibat beban yang diteruskan sepanjang tiang (S_3). Berikut merupakan uraian perhitungan pada penurunan fondasi tiang tunggal dengan diameter 0,5 meter.

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{(Q_p + (\alpha \times Q_s)) \times L}{A_p \times E_p} \\
 &= \frac{(70,450 + (0,500 \times 381,316)) \times 20}{0,196 \times 2761463,58} \\
 &= \mathbf{0,00963 \text{ m}} \\
 S_2 &= \frac{Q_p \times C_p}{D \times q_p} \\
 &= \frac{70,450 \times 0,09}{0,5 \times 358,797} \\
 &= \mathbf{0,0353 \text{ m}} \\
 S_3 &= \frac{Q_s}{p \times L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \times I_{ws} \\
 &= \frac{381,316}{1,571 \times 20} \times \frac{0,5}{2039,4} \times (1 - 0,35^2) \\
 &\quad \times 4,214 \\
 &= \mathbf{0,0110 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai penurunan total tiang tunggal yaitu:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{Total}} &= S_1 + S_2 + S_3 \\
 &= 0,00963 + 0,0353 + 0,0110 \\
 &= \mathbf{0,05598 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

Penurunan Fondasi pada Kelompok Tiang

Perhitungan penurunan fondasi pada tiang kelompok menggunakan metode Vesic (1977). Contoh perhitungan penurunan kelompok dilakukan pada titik C39 dengan persamaan sebagai berikut.

$$S_g = S_{\text{Total}} \times \sqrt{\frac{B_g}{D}}$$

Dimana penurunan kelompok tiang pada titik C39, yaitu:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{Total}} &= 0,05598 \text{ m} \\
 B_g &= 2,350 \text{ m} \\
 D &= 0,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 S_g &= 0,05598 \times \sqrt{\frac{2,350}{0,5}} \\
 &= 0,12136 \text{ meter} \approx \mathbf{12,136 \text{ cm}}
 \end{aligned}$$

Daya Dukung Lateral

Tahapan awal dalam perhitungan daya dukung lateral yaitu menentukan kriteria jenis tiang, kemudian menghitung daya dukung lateral tiang tunggal dan kelompok serta menghitung defleksinya. Menentukan kriteria jenis tiang,

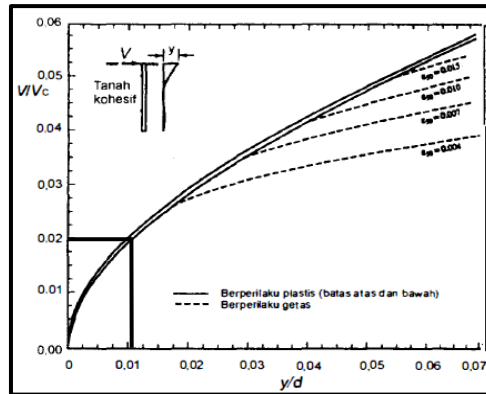
$$\begin{aligned}
 T &= \sqrt[5]{\frac{E_p \times I_p}{n_h}} \\
 &= \sqrt[5]{\frac{2761463,58 \times 0,00307}{1129,828}} \\
 &= 1,496 \text{ m} \\
 L &> 4T \\
 20 &> 5,985 \dots (\text{OK!!}) \text{ “termasuk tiang panjang dan elastis”}
 \end{aligned}$$

Persamaan untuk menghitung daya defleksi lateral tiang menggunakan metode Evan dan Duncan (1982) dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_C = \lambda \times D^2 \times E \times R_1 \times \left(\frac{\sigma_p}{E \times R_1} \right)^m \times (\epsilon_{50})^n$$

$$= 817971,7 \text{ kg}$$

$$= 817,9717 \text{ ton}$$



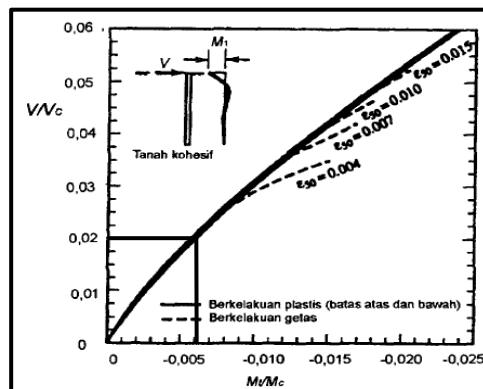
$$M_C = \lambda \times D^3 \times E \times R_1 \times \left(\frac{\sigma_p}{E \times R_1} \right)^m \times (\epsilon_{50})^n$$

$$= 3749775,9 \text{ kg.m}$$

$$= 3749,7760 \text{ ton.m}$$

Diperoleh nilai beban geser (V_C) sebesar 817,9717 ton dan nilai beban momen (M_C) sebesar 3749,7760 ton.m. Kemudian selanjutnya mencari nilai V dan M_{max} yang dapat diperoleh dengan cara plotting ke grafik pada Gambar 3. Nilai defleksi tiang menggunakan nilai defleksi ijin sebesar 6 mm. (McNulty, 1956). Diperoleh nilai $y/d = 0,012$ m. Nilai tersebut di plot kedalam grafik

Gambar 3. Hubungan Beban Geser Terhadap Defleksi Lateral untuk



Tiang Ujung Jepit

Berdasarkan hasil plot, diperoleh nilai V/V_c sebesar 0,020 m, maka,

$$V = V_C \times \frac{V}{V_C}$$

$$= 817,9717 \times 0,020$$

$$= 16,3594 \text{ ton}$$

Nilai V/V_c kemudian di plot kedalam grafik untuk mendapatkan nilai M_t/M_c ,

Gambar 4. Hubungan Beban Geser terhadap Momen Maksimum untuk

Tiang Ujung Jepit

Hasil plotting nilai V/V_c pada grafik diatas didapat nilai $M_t/M_c = -0,006$

Sehingga,

$$M = M_C \times \frac{M_t}{M_c}$$

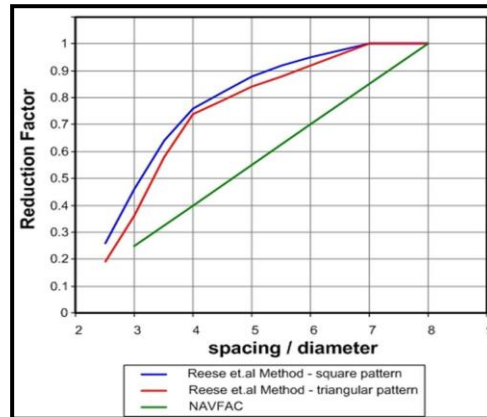
$$= 3749,7760 \times -0,006$$

$$= -22,4987 \text{ ton.m}$$

Daya dukung lateral kelompok tiang menggunakan Reese et al dengan persamaan berikut.

$$V_g = n \times V \times \text{Faktor reduksi}$$

Faktor reduksi dipengaruhi oleh rasio jarak tiang dibagi dengan diameter tiang. Reese membedakan susunan tiang sebagai *square pattern* dan *triangular pattern*.



Gambar 5. Penentuan Nilai Faktor Reduksi

Perhitungan defleksi lateral tiang menggunakan metode Broms dengan persamaan sebagai berikut.

$$\beta = \left(\frac{k_h \times D}{4 \times E_p \times I_p} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$= \left(\frac{47452,759 \times 0,500}{4 \times 2761463,58 \times 0,00307} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$= 0,9147$$

$$\beta L = 0,9147 \times 20$$

$$= 18,2947$$

$$\beta L > 1,5$$

Sehingga defleksi lateral tiang ujung jepit dianggap sebagai tiang panjang bila $\beta L > 1,5$ dengan persamaan berikut.

$$y_o = \frac{H \times \beta}{k_h \times D}$$

$$= \frac{36,8087 \times 0,9147}{47452,759 \times 0,5}$$

$$= 0,0014191 \text{ m}$$

$$= 1,4191 \text{ mm} < 6 \text{ mm (OK!!)}$$

Penulangan Fondasi Tiang

Penulangan fondasi tiang terdiri dari tulangan longitudinal dan tulangan geser. Perencanaan pemakaian tulangan sesuai dengan SNI 2847 : 2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

1. Tulangan Longitudinal

- a. Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom tidak melebihi

$$\text{Syarat : } \frac{A_g \times f_c'}{10} < P_u$$

$$A_g = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 196349,541 \text{ mm}^2$$

Maka,

$$\frac{196349,541 \times 33,2}{10}$$

$$= 651880,476 \text{ N}$$

$$= 65,188 \text{ ton} < 667,207 \text{ ton}$$

- b. Dimensi penampang terpendek tidak kurang dari 300 mm

- c. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4. Maka,

$$\frac{400}{490,874} = 0,814 > 0,4 \text{ (OK!!)}$$

- d. Pada Pasal 10.9.1 luas tulangan longitudinal minimum tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ atau lebih dari $0,08 A_g$. Maka,

$$A_S \text{ min} = 0,01 \times A_g \\ = 1963,4954 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D-19 dengan luas tulangan,

$$A_{S(\text{Tulangan})} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ = 283,5287 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan minimum,

$$n = \frac{A_S \text{ min}}{A_{S(\text{Tulangan})}} \\ = \frac{1963,4954}{283,5287} \\ = 6,925$$

$$= 7 \text{ buah} > 6 \text{ buah (OK!!)}$$

Digunakan 7 buah tulangan dengan D-19, maka,

$$A_{S \text{ Total}} = n \times A_{S(\text{Tulangan})} \\ = 7 \times 283,5287 \\ = 1984,701 \text{ mm}^2$$

Cek konfigurasi penulangan,

$$\rho_g = \frac{A_{S \text{ Total}}}{A_g} \\ = 0,010108$$

$$0,01 < 0,010108 < 0,08 \text{ (OK)}$$

- e. Berdasarkan Pasal 10.3.6 desain beban aksial ϕP_n dari komponen struktur tekan tidak lebih besar dari $\phi P_{n \text{ max}}$. Perhitungan komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral menggunakan persamaan berdasarkan pasal 10.3.6.1 yang dapat diuraikan berikut. $\phi P_{n \text{ max}} = 0,85 \times \phi \times$

$$[0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{ST}) + f_y \times A_{ST}]$$

$$\text{Syarat: } \phi P_{n \text{ max}} > 0,10 \times f_c' \times A_g$$

Sehingga,

$$4002770,85 \text{ N} > 651880,476 \text{ N (OK!!)}$$

Berdasarkan hasil hitungan tulangan longitudinal yang digunakan pada fondasi diameter 0,5 m ialah 7D19.

2. Tulangan Geser

- a. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.7 untuk beton yang di cor langsung diatas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah, tebal minimum selimut beton adalah 75 mm.

Diameter inti fondasi,

$$D_C = D - (2 \times t_{sb}) \\ = 500 - (2 \times 75) \\ = 350 \text{ mm}$$

Luas penampang inti,

$$A_{Ch} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_C^2 \\ = 96211,275 \text{ mm}^2$$

- b. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.10.4.2 ukuran batang spiral minimum tidak boleh kurang dari diameter 10 mm, maka akan direncanakan menggunakan batang spiral dengan D-16.

Luas tulangan spiral,

$$A_S = \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ = 201,062 \text{ mm}^2$$

- c. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.9.3, rasio tulangan spiral (ρ_s) tidak boleh kurang dari nilai persamaan berikut ini,

$$(\rho_s) = 0,45 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f_c'}{f_y}$$

$$= 0,03887$$

Menentukan spasi maksimum (S),

$$S = \frac{4 \times A_s \times (D_C - d_s)}{D_C^2 \times \rho_s}$$

$$= 56,407 \text{ mm} \approx 56 \text{ mm}$$

Cek $\rho_{S(\text{aktual})}$,

$$\rho_{S(\text{aktual})} = \frac{4 \times A_s}{D_C \times S}$$

$$= 0,04103$$

Syarat : $\rho_{S(\text{aktual})} > \rho_s$

Sehingga, $0,04103 > 0,3887$ (OK!!)

- d. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.10.4.3, jarak bersih antar spiral tidak boleh melebihi 75 mm atau tidak kurang dari 25 mm.

Jarak spiral = $S - d_s$

$$= 56 - 16$$

$$= 40 \text{ mm}$$

$25 \text{ mm} < 40 \text{ mm} < 75 \text{ mm}$ (OK!!)

- e. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.2 untuk komponen yang dikenai tekan aksial, maka menggunakan persamaan berikut,

$$V_C = 0,17 \times \left(1 + \frac{P_U}{14 \times A_g} \right)$$

$$\times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

Diketahui:

$$P_U = P_{\text{Max}} = 1752,442 \text{ ton}$$

$$= 17524420 \text{ N}$$

$$b_w = 500 \text{ mm}$$

$$(d') = d - t_{SB} - D_{\text{tulangan}}$$

$$= 400 - 75 - 16$$

$$= 309 \text{ mm}$$

Sehingga,

$$V_C = 0,17 \times \left(1 + \frac{P_U}{14 \times A_g} \right)$$

$$\times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$= 1116126,09 \text{ N}$$

$$\phi V_C = 0,75 \times 1116126,09$$

$$= 837094,565 \text{ N}$$

$$\frac{\phi V_C}{2} = 418547,283 \text{ N}$$

Maka,

$$V_U < \frac{\phi V_C}{2}$$

$$121954,165 < 418547,565 \text{ (OK)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tulangan geser yang digunakan pada fondasi tiang diameter 0,5 m adalah D16 – 40.

Penulangan Pile Cap

Pile cap merupakan salah satu struktur terpenting yang gunanya untuk menyatukan fondasi tiang bor yang jumlahnya lebih dari satu. Perhitungan pile cap mengacu pada SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

1. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 15.7, ketebalan minimum untuk pile cap tidak boleh kurang dari 300 mm. Contoh perhitungan dilakukan pada kolom C39 dengan asumsi tebal pile cap 1000 mm.
2. Kuat geser satu arah dilakukan untuk dapat meninjau terhadap kemungkinan kegagalan geser satu arah. Daerah pembebanan dapat diambil dari potongan kritis penampang yang terletak sejauh d dari muka kolom.

Arah x,

$$a_x = \left(\frac{L_g}{2} - \frac{P_k}{2} - \frac{d_x}{2} \right) \\ = \left(\frac{2350}{2} - \frac{900}{2} - \frac{937,5}{2} \right) = 256,25 \text{ mm}$$

Arah y,

$$a_y = \left(\frac{B_g}{2} - \frac{L_k}{2} - \frac{d_y}{2} \right) \\ = \left(\frac{2350}{2} - \frac{1200}{2} - \frac{962,5}{2} \right) = 93,75 \text{ mm}$$

Kuat geser satu arah:

Arah x,

$$V_{U1x} = \sigma \times a_x \times B \\ = 0,302 \text{ N/mm}^2 \times 256,25 \times 2350 \\ = 181884,887 \text{ N}$$

Arah y,

$$V_{U1y} = \sigma \times a_y \times L \\ = 0,302 \times 93,75 \times 2350 \\ = 66543,251 \text{ N}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.1, untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja, maka menggunakan persamaan sebagai berikut.

Arah x,

$$V_{Cx} = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d_x \\ = 0,17 \times 1 \times \sqrt{33,2} \times 500 \times 937,5 \\ = 459154,922 \text{ N}$$

$$\phi V_{Cx} = 0,75 \times 459154,922 \\ = 344366,191 \text{ N}$$

Syarat : $\phi V_{Cx} > V_{U1x}$

Sehingga,

$$344366,191 \text{ N} > 181884,887 \text{ N (OK!!)}$$

Arah y,

$$V_{Cy} = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d_y \\ = 0,17 \times 1 \times \sqrt{33,2} \times 500 \times 962,5 \\ = 471399,053 \text{ N}$$

$$\phi V_{Cy} = 0,75 \times 471399,053 \\ = 353549,290 \text{ N}$$

Syarat : $\phi V_{Cy} > V_{U1y}$

Sehingga,

$$353549,290 \text{ N} > 66543,251 \text{ N (OK!!)}$$

3. Keruntuhan geser dua arah dapat timbul sebagai akibat munculnya tegangan tarik diagonal yang disebabkan oleh beban kolom yang disalurkan ke fondasi. Daerah pembebanannya terletak di sekitar kolom.

Lebar penampang kritis,

$$B' = \text{Lebar kolom } (L_k) + d \\ = 1200 + 925 = 2125 \text{ mm}$$

Panjang penampang kritis,

$$L' = \text{Panjang kolom } (P_k) + d \\ = 900 + 925 = 1825 \text{ mm}$$

Keliling penampang kritis,

$$b_o = 2 \times (L' + B') \\ = 2 \times (1825 + 2125) = 7900 \text{ mm}$$

Kuat geser dua arah,

$$V_{U2} = (B \times L) - ((P_k + d) \times (L_k + d)) \times \sigma \\ = 4351150,001 \text{ N}$$

Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom (β),

$$\beta = \frac{\text{sisi panjang kolom}}{\text{sisi pendek kolom}}$$

$$= 1,333$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1 untuk fondasi aksi kuat geser dua arah nilai V_C diambil dari nilai terkecil pada ketiga persamaan V_C berikut ini.

$$V_{C1} = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$= 17894797,818 \text{ N}$$

$$V_{C2} = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$= 15173402,802 \text{ N}$$

$$V_{C3} = 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$= 13894784,188 \text{ N}$$

Syarat kuat geser dua arah,

$$\phi V_C > V_{U2} \text{ Sehingga,}$$

$$10421088,141 \text{ N} > 4351150,001 \text{ N (OK!!)}$$

4. Penulangan arah x dilakukan pada titik kolom C39 yang dapat diuraikan sebagai berikut.

$$q_p = B_g \times \text{Tebal PC} \times \text{BJ beton}$$

$$= 5640 \text{ kg/m}$$

$$I_x = \frac{L_g}{2} - \frac{P_K}{2}$$

$$= \frac{2,350}{2} - \frac{0,900}{2}$$

$$= 0,725 \text{ m}$$

$$I_y = \frac{B_g}{2} - \frac{L_K}{2}$$

$$= \frac{2,350}{2} - \frac{1,200}{2}$$

$$= 0,575 \text{ m}$$

$$I_{mx} = I_x - x = 0,725 - 0,55 = 0,175 \text{ m}$$

$$I_{my} = I_y - y = 0,575 - 0,55 = 0,025 \text{ m}$$

Momen ultimit,

$$M_{UX} = (n \times Q_U \times I_{my}) - \left(\frac{1}{2} \times q_p \times I_y^2\right)$$

$$= (2 \times 451765,673 \times 0,025) -$$

$$\left(\frac{1}{2} \times 5640 \times 0,575^2\right)$$

$$= 21655,921 \text{ kgm}$$

$$= 212372039,270 \text{ Nmm}$$

Momen nominal,

$$M_{nx} = \frac{M_{UX}}{\theta} = \frac{212372039,270}{0,8}$$

$$= 265465049,087 \text{ Nmm}$$

Koefisien kapasitas penampang,

$$R_n = \frac{M_{nx}}{L_g \times d_x^2} = \frac{265465049,087}{2350 \times 937,5^2}$$

$$= 0,129$$

Rasio penulangan,

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 33,2}$$

$$= 14,174$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400}$$

$$= 0,0035$$

$$\rho_s = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,0350$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_s = 0,75 \times 0,0350$$

$$= 0,0263$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= 0,0003221$$

Sehingga,

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0,0035 > 0,0003221 < 0,0263$ karena nilai $\rho_{\min} = 0,0035 > \rho = 0,000321$, maka diambil nilai $\rho_{\min} = 0,0035$

Tulangan bawah arah x,

Lebar badan pile cap arah x bagian bawah,

$$b = \text{Panjang pc} - (2 \times t_{SB}) - D_{\text{bengkokan}}$$

$$= 2350 - (2 \times 75) - 150 = 2050 \text{ mm}$$

Luas tulangan yang dibutuhkan,

$$A_{S(\text{perlu})} = \rho_{\min} \times b \times d_x$$

$$= 0,0035 \times 2050 \times 937,5$$

$$= 6726,6 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D-25 maka,

Luas tulangan yang digunakan,

$$A_S = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,140 \times 25^2$$

$$= 490,9 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan,

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{S(\text{perlu})}}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,140 \times 25^2 \times 2050}{6726,6}$$

$$= 145 \text{ mm}$$

$$A_{S(\text{pakai})} = \frac{b \times A_S}{S}$$

$$= \frac{2050 \times 490,9}{145}$$

$$= 6939,9 \text{ mm}^2$$

$$A_{S(\text{pakai})} > A_{S(\text{perlu})}$$

$$6939,9 \text{ mm}^2 > 6726,6 \text{ mm}^2 \text{ (OK!!)}$$

Jumlah tulangan yang digunakan,

$$n = \frac{b}{S} = \frac{2050}{145}$$

$$= 14,14 \approx 14 \text{ tulangan}$$

Maka tulangan bawah arah x yang digunakan yaitu 14D25 – 145.

Tulangan atas arah x,

Lebar badan pile cap arah x bagian atas,

$$b = b_{\text{bagian bawah}} - (2 \times D_{\text{tulangan}})$$

$$= 2050 - (2 \times 25) = 2000 \text{ mm}$$

Luas tulangan yang dibutuhkan,

$$A_{S(\text{perlu})} = \rho_{\min} \times b \times d_x$$

$$= 0,0035 \times 2000 \times 937,5$$

$$= 6562,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D-25 maka,

Luas tulangan yang digunakan,

$$A_S = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times 3,140 \times 25^2$$

$$= 490,9 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan,

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{S(\text{perlu})}}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,140 \times 25^2 \times 2000}{6562,5}$$

$$= 145 \text{ mm}$$

$$A_{S(\text{pakai})} = \frac{b \times A_S}{S}$$

$$= \frac{2000 \times 490,9}{145}$$

$$= 6770,7 \text{ mm}^2$$

$A_{S(\text{pakai})} > A_{S(\text{perlu})}$
 $6770,7 \text{ mm}^2 > 6562,5 \text{ mm}^2$ (OK!!)

Jumlah tulangan yang digunakan,

$$n = \frac{b}{S} = \frac{2000}{145}$$

$$= 13,8 \approx 14 \text{ tulangan}$$

Maka tulangan atas arah x yang digunakan yaitu 14D25 – 145.

5. Penulangan arah y digunakan untuk daerah lebar pile cap. Perhitungan tulangan bawah arah y sama dengan perhitungan tulangan arah x. Pile cap pada titik C39 ukuran panjang dan lebar sama arah x dan arah y sama. Sehingga pada tulangan arah y menggunakan 14D25 – 145.

Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan rencana anggaran biaya dilakukan berdasarkan peraturan menteri pekerjaan umum dan perumahan rakyat nomer 28/PRT/M/2016 tentang analisis harga satuan bidang pekerjaan umum. Daftar harga yang digunakan berdasarkan Jurnal Harga Satuan Bahan Bangunan, Konstruksi dan Interior Edisi 38 Tahun 2019. Berdasarkan hasil hitungan didapat anggaran biaya total keseluruhan pekerjaan fondasi tiang bor dengan diameter 0,5 meter beserta pile cap adalah sebesar Rp 10.704.000.000.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil perencanaan dari perencanaan fondasi tiang bor adalah fondasi berbentuk lingkaran menggunakan diameter 0,5 meter dengan kedalaman 21 meter. Daya dukung fondasi tiang bor pada ujung tiang didapat sebesar 70,450 ton dengan daya dukung selimut tiang didapat sebesar 381,316 ton serta daya dukung ultimit didapat sebesar 451,766 ton. Perhitungan penurunan didapat sebesar 12,136 cm hingga 15,020 cm. Daya dukung lateral yang didapat sebesar 16,359 ton hingga 32,719 ton. Hasil perhitungan defleksi didapat sebesar 0,6307 mm hingga 1,4191 mm. Penulangan fondasi tiang bor pada tulangan longitudinal menggunakan 7D19 dan untuk tulangan geser menggunakan D16 – 40. Rencana anggaran biaya untuk perencanaan fondasi tiang bor dan pile cap yaitu Rp 10.704.000.000.

Saran

Hasil analisa dalam penulisan ini dapat disarankan yaitu dalam perencanaan fondasi tiang tidak hanya menggunakan data berdasarkan SPT, namun kelengkapan data laboratorium tanah juga diperlukan guna untuk menghitung penurunan konsolidasi dan waktu penurunan yang terjadi. Penelitian selanjutnya sebaiknya desain fondasi dibuat lebih variasi guna untuk lebih efisien dalam perencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Das, Braja M., Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1, Penerbitan Erlangga, Surabaya, 1995.
- [2] Hardiyatmo, Hary Christady., Analisis dan Perancangan Fondasi I, Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 2014.
- [3] Hardiyatmo, Hary Christady., Analisis dan Perancangan Fondasi II, Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 2018.

- [4] Raharjo, Paulus P., Manual Pondasi Tiang, Departemen Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 2000.
- [5] Refanie, Angel. & Andrias, S.N. (2015). *Analisis Beban Penurunan pada Pondasi Tiang Bor Berdasarkan Hasil Uji Beban Tiang Terinstrumentasi dan Program Geo 5*. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 76-168. Universitas Kristen Maranatha.
- [6] Setiawan, Agus, Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013, Penerbitan Erlangga, Jakarta, 2018.
- [7] SNI 2847:2013, Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2013.
- [8] SNI 8460:2017, Persyaratan Perancangan Geoteknik, Tim Penyusun Standar Nasional Indonesia (SNI) Kriteria Perencanaan Geoteknik dan Kegempaan (Amandemen), Jakarta, 2017.
- [9] Verhoef, P, N, W., Geologi untuk Teknik Sipil, Penerbitan Erlangga, Jakarta, 1989.