

PENGARUH DAYA DUKUNG TANAH DALAM PENENTUAN PONDASI BORED PILE DAN PILE CAP PADA GEDUNG BERTINGKAT

Nurokhman N¹⁾ ; M. Ryan Iskandar¹⁾ ; Nufrizal Farid Hanafi²⁾ ; M. Irfan Marasabessy²⁾
E-mail: nurokhman.jogja@gmail.com ; nfariedh@gmail.com ; irfanmarassy95@gmail.com

ABSTRACT: *In building design, the problem of soil investigation is to determine the property value and property engineering which determines the selection of the foundation type and its depth. Generally, soil investigations are carried out by means of sondir and drilling which are then calculated with a certain formula to determine the bearing capacity of the soil. The purpose of this study is to identify soil properties at the project site, evaluate the results of soil investigations, and bored pile foundation design. The research method is to collect data from reference sources that are directly related to designing, especially PT. Poladata Consultant Consultants, and direct surveys to the location through systematic stages.*

Results soil investigation, the Cone Penetration Test (CPT) soil test at the site location of the UGM Faculty of Law Building was carried out at 2 points (S-1 and S-2) which shows the groundwater level at an elevation of -4.00 m, and soil drilling or Standard Penetration Test (SPT) at a depth of -13.40 m, the value of qc conus resistance reaches > 600 kg / cm². The carrying capacity of the bored pile from the SPT data uses the Reese & Wright method for the case study F1 foundation is installed with 4 bored piles diameter (d) = 0.8 m², depth (L) = 23-28 m, carrying capacity (qp) = 272.328 T/m², Safety Factor (SF) = 3, with a piece size of 3.6 m x 3.6 m thick 1.2 m with reinforcement D16-120 mm.

Keywords: *soil bearing capacity, bored pile*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam pekerjaan konstruksi gedung pemilihan dan penentuan jenis pondasi menjadi pertimbangan yang telah diperhitungkan berdasarkan kondisi tanah, beban gedung, lokasi proyek dan kemudahan pekerjaan serta efisiensi biaya. Pondasi merupakan elemen struktur bawah yang memikul seluruh beban dari bangunan untuk diteruskan ketanah sehingga kedalaman ditentukan berdasarkan hasil pengujian daya dukung tanah. Tanah keras berada pada kedalaman tertentu akan menentukan pemilihan jenis pondasi gedung dan umumnya gedung berlantai lebih dari 3 lantai akan dipilih jenis pondasi dalam seperti bore pile atau tiang pancang.

Pada perencanaan Gedung Kuliah Fakultas Hukum UGM 7 lantai berdasarkan hasil pengujian tanah telah direncanakan penggunaan bor pile dengan diameter 80 cm dengan kedalaman rata-rata 28 m. Dari N-SPT yang didapat dari hasil penyelidikan tanah pada muka air tanah rata-rata kedalaman -3.00 m. dengan pertimbangan lingkungan maka pemilihan jenis pondasi adalah bore pile dan diameter yang umumnya dijadikan pertimbangan bored pile 60 cm dan 80 cm. Penentuan diameter tersebut selain daya dukung, jarak antar tiang juga kedalaman. Namun demikian dalam pelaksanaan actual harus dilakukan pengujian beban statis dan beban dinamis serta jika perlu terhadap gaya lateral pada titik pondasi yang mewakili.

- 1) *adalah Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Cokroaminoto Yogyakarta*
- 2) *adalah Tenaga Ahli Poladata Consultant*

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan studi ini mengidentifikasi property tanah hasil pengujian di lokasi desain tapak, menganalisis daya dukung dan kedalaman tanah keras untuk pondasi serta menganalisis perencanaan pemilihan dimensi bored pile dan jumlah dalam satu pilecap dengan tinjauan beban aksial dan geser.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Pondasi

Pondasi merupakan bagian bangunan yang menghubungkan bangunan dengan tanah, yang menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban berguna, dan gaya-gaya luar terhadap gedung seperti tekanan angin, gempa bumi, dan lain-lain. Pondasi berfungsi sebagai kaki bangunan atau alas bangunan dan sebagai penahan bangunan dan meneruskan beban dari atas ke dasar tanah yang cukup kuat. Sebagai penjaga agar kedudukan bangunan stabil/tetap (Setiawan, 2001). Pondasi sebagai konstruksi bagian dasar bangunan yang berfungsi sebagai penerus beban dari struktur ke lapisan tanah dibawahnya yang diharapkan bisa menghindari terjadinya keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan. Dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Menurut M.Shouman (2010) pemilihan tipe pondasi ini didasarkan atas: (a) Fungsi bangunan atas (*super structure*) yang akan dipikul oleh pondasi tersebut. (b) Besarnya beban dan beratnya bangunan atas; (c) Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan, dan (d) Biaya pondasi dibandingkan dengan bangunan diatas

Secara umum kedalaman tanah keras dan besarnya beban akan menentukan pemilihan jenis pondasi. Gedung dengan lebih dari 3 lantai umumnya digunakan pondasi dalam. Pondasi dalam merupakan jenis pondasi dalam Teknik Pondasi yang dibedakan dengan pondasi dangkal dari segi kedalaman masuknya ke dalam tanah. Perbandingan kedalaman dengan lebar pondasi lebih dari empat ($D/B \leq 4$), meneruskan beban ke tanah keras atau batu, terletak jauh dari permukaan. Adapun jenis-jenis pondasi dalam seperti pondasi sumuran, pondasi tiang, dan pondasi bore pile.

2.2. Pondasi Bored Pile

2.2.1. Pengertian Pondasi *Bored Pile*

Pondasi *bored pile* adalah salah satu jenis dari berbagai macam bentuk jenis dan pondasi dalam dengan memiliki bentuk seperti tabung yang terdiri dari campuran beton bertulang dengan dimensi diameter tertentu yang dipasang didalam tanah dengan menggunakan metode pengeboran terkini sampai panjang kedalam dengan tingkat kekerasan daya dukung tanah yang diperlukan untuk sesuatu konstruksi bangunan. Layaknya pondasi tiang, maka pondasi pada dudukan beton pile (*pile cap*). Fungsi dudukan beton adalah mengikatkan tulangan pondasi pada kolom dan sloof. Selain itu fungsinya adalah untuk transfer tekanan beban di atasnya.

Terdapat beberapa keuntungan dalam pemakaian pondasi bored pile yaitu pada proses pelaksanaannya tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya, pondasi bored pile dapat dipasang menembus batuan, diameter tiang memungkinkan dibuat besar bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya. Adapun kelemahan dari pondasi bored pile yaitu pengecoran bored pile dipengaruhi kondisi cuaca, pengecoran beton lebih sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik, mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya di sepanjang badan bored pile.

2.3. Perencanaan Pondasi

Dalam perencanaan pondasi terdapat 2 kriteria yang tidak bisa diabaikan, yakni daya dukung sistem pondasi (q_{ult}) harus lebih besar daripada tegangan kontak yang terjadi akibat beban dan penurunan pondasi akibat beban harus lebih kecil daripada penurunan yang diijinkan (M.Shouman,2010:Hal 1-2). Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu pondasi tiang yaitu:

- Beban yang diterima oleh pondasi tidak melebihi daya dukung tanah untuk menjamin keamanan bangunan.
- Pembatasan penurunan yang terjadi pada bangunan pada nilai yang dapat diterima yang tidak merusak struktur.
- Pengendalian atau pencegahan efek dari pelaksanaan konstruksi pondasi atau galian atau pekerjaan pondasi yang lain untuk membatasi pergerakan bangunan atau struktur lain disekitarnya (Rahardjo, 2000).

2.4. Penyelidikan Tanah Untuk Perencanaan Pondasi

Pekerjaan penyelidikan tanah yang sering dilakukan untuk keperluan perencanaan pondasi antara lain:Pemboran, baik dangkal (tangan) maupun pemboran dalam (mesin). Uji SPT (*Standard Penetration Test*) yang biasanya dilakukan bersamaan dengan pekerjaan pemboran dalam. pengambilan contoh tanah (*sampling*) untuk diuji dilaboratorium. uji *vane shear* yang biasanya dilakukan bersamaan dengan pekerjaan pemboran pada tanah lunak. uji sondir (*CPT/cone penetration test*). *test pit*, dan *plate bearing test*. Hasil akhir dari penyelidikan tanah ini salah satunya berupa interpretasi pelapisan tanah pada seluruh area yang diselidiki (*stratigrafi*). Dengan adanya stratigrafi ini selanjutnya perencanaan pondasi bisa dilakukan setelah analisa struktur atas selesai dikerjakan dan beban yang akan diterima pondasi ditentukan. (M.Shouman,2010:Hal 1-3). Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Braja M. Das, 1995).

Data penelitian tanah merupakan data sekunder dimana peneliti tidak langsung terjun ke lapangan sehingga data tersebut merupakan data yang diperoleh dari instansi yang terkait. Penelitian tanah dimaksudkan untuk mendapatkan data keadaan tanah pada titik yang telah ditentukan sebagai gambaran dasar keadaan tanah pada lokasi proyek. Pengujian dengan alat bor mesin ini dilaksanakan dengan menggunakan mata bor *tungsteen* yang menghasilkan inti tanah atau batuan berdiameter 76 mm apabila dipakai *single core barrel* dan 50 mm apabila dipakai *double core barrel*. Tujuan dilakukan pengujian dengan bor mesin ini adalah untuk mengetahui kondisi lapisan tanah. Pengujian dengan bor mesin pada lokasi proyek biasanya dilakukan sebanyak 3-5 titik. Pengujian di lapangan dilakukan konsultan untuk mendapatkan data dalam perencanaan. Dalam pengujian sampel tanah tak terganggu (*undisturbed sample*) dengan parameter pengujian kadar air, berat jenis, berat volume, *atterberg limits*, *grainsize analysis*, *triaxial test*, serta uji konsolidasi dilakukan di laboratorium tanah.

Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) dilaksanakan bersamaan dengan pengujian Bor Mesin. Pengujian SPT ini dilakukan untuk setiap interval kedalaman 2 meter. SPT test menggunakan palu pemukul dengan berat 63,5 kg dan tinggi jatuh 75 cm. Pengujian ini dilakukan dengan cara menghitung jumlah pukulan palu pemukul yang diperlukan untuk mendesak tabung contoh *Split Spoon Sampler* berdiameter 2" sedalam 30 cm ke dalam tanah. Penghitungan jumlah pukulan dilakukan sebanyak 3 kali yaitu setiap penetrasi 15 cm. Nilai SPT didapatkan dengan menjumlahkan jumlah pukulan yang

diperlukan pada 15 cm penetrasi kedua dan ketiga. Hasil pengujian *Standrad Penetration Test (SPT)* disajikan dalam bentuk grafik pada *Boring Log*.

2.5. Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Tunggal

2.5.1. Kapasitas Daya Dukung Ujung Berdasarkan Data Laboratorium

Pada kondisi tanah kohesif menurut Mayerhof:

$$Q_e = A_p \cdot c \cdot N_c'$$

Dimana: Q_e = Daya dukung ujung (kN/m); A_p = Luas penampang tiang (m^2); C = Kohesi tanah bagian ujung (sebaiknya dari test UU); N_c' = Faktor daya dukung (untuk tanah berbutir halus = 9). Sedangkan menurut Terzaghi:

$$Q_e = A_p \cdot q_{ult}$$

$$Q_{ult} = (1,3 \cdot C \cdot N_c) + (q \cdot N_q)$$

Dimana: A_p = Luas penampang tiang; N_c = Faktor daya dukung tanah ujung; N_q = Faktor daya dukung tanah ujung.

Pada kondisi tanah granular menurut Mayerhof

- Pada tanah pasir, daya dukung membesar dengan bertambahnya kedalaman pemancangan dan mencapai *max.* pada $(L_b/D) = (L_b/D)_{cr}$
- Pada Tanah homogen dengan $L_b = L$, umumnya $L_b < L$

$$Q_e = A_p \cdot q_p = A_p (c \cdot N_c + q \cdot N_q)$$

$$\text{Karena } c = 0 \rightarrow Q_e = A_p \cdot q_p = A_p \cdot Q \cdot N_q \leq A_p \cdot q_i = 50 \cdot N_q \cdot \tan \emptyset$$

$$Q_{e_{max}} = A_p \cdot q_i = A_p \cdot 50 \cdot N_q \cdot \tan \emptyset$$

Pada kondisi tanah granular menurut Terzaghi (1943) dalam Martini (2009) bahwa fondasi dangkal ditentukan dari $D_f \leq B$, dengan D_f adalah kedalaman fondasi dangkal dan B merupakan lebar fondasi. Adapun persamaan daya dukung tanah untuk fondasi memanjang yang dirumuskan oleh Terzaghi (1943) adalah :

$$q_u = c N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0.5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \dots \dots \dots 2.1$$

dimana : q_u = daya dukung ultimit (kg/cm^2) ; c = kohesi tanah (kg/cm^2) ; D_f = kedalaman fondasi (m) ; B = lebar fondasi (m) ; γ = berat volume tanah (kg/cm^3) ; N_c , N_q , N_γ = faktor daya dukung Terzaghi Nilai-nilai faktor daya dukung Terzaghi N_c , N_q , N_γ fungsi dari besarnya besarnya sudut geser dalam (θ). Untuk pengaruh bentuk fondasi, Terzaghi (1943) dalam Martini (2009) memberikan pengaruh faktor bentuk terhadap daya dukung ultimit yang didasarkan pada analisis fondasi memanjang diantaranya sebagai berikut :

a. Fondasi bujur sangkar

$$q_u = 1.3 c N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0.4 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma$$

b. Fondasi lingkaran

$$q_u = 1.3 c N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0.3 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma$$

dimana : q_u = daya dukung ultimit (kg/cm^2) ; c = kohesi tanah (kg/cm^2) ; D_f = kedalaman fondasi (m) ; γ = berat volume tanah (kg/cm^3) N_c , N_q , N_γ = faktor daya dukung Terzaghi.

2.5.2. Kapasitas Daya Dukung

Pada tanah homogen, kapasitas daya dukung adalah:

$$Q_s = A_s \cdot f = p \cdot L \cdot f$$

dengan, A_s = Luas selimut tiang; = Keliling penampang; L = Panjang Tiang; f = Tahanan friksi. Pada tanah berlapis: $Q_s = \sum (p \cdot \Delta L \cdot f)$. Bila penampang konstan maka $Q_s = p \cdot \sum (\Delta L \cdot f)$. Untuk tanah berpasir maka: $f = K \cdot \sigma_v' \cdot \tan \delta$. dimana, K = koefisien tekanan tanah lateral; σ_v' = tekanan tanah vertikal efektif; δ = sudut gesek antara tiang pasir;

- *Bored or jetty piles* : $K = K_0 = 1 - \sin \phi$;
- *Small displacement piles*: $K = K_0$ (lower limit); $K = 1,4 \cdot K_0$ (upper limit);
- *Large displacement piles*: $K = K_0$ (lower limit); $K = 1,8 \cdot K_0$ (upper limit)

Pada tanah Kohesif dengan metode λ -Method, nilai tahanan friksi, f .

$$f = \lambda (\sigma_v' + 2 \cdot C_u)$$

dimana, σ_v' = tekanan tanah vertikal efektif; C_u = *undrained shear strength*; $\lambda = f(L)$, dibaca dari nomogram.

2.5.3. Desain Bored Pile

Perhitungan daya dukung tiang bore pile menggunakan Metode Reese dan Wright (1977) pada dasarnya mengikuti rumus umum yaitu diperoleh dari penjumlahan tahanan ujung dan tahanan selimut, perhitungan ini yang dinyatakan dengan rumus berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p$$

Dimana Q_u = Daya dukung ultimit tiang (ton); Q_p = Daya dukung ultimit ujung tiang (ton); Q_s = Daya dukung ultimit selimut tiang (ton); W_p = Berat pondasi tiang (ton); Untuk menghitung besarnya daya dukung ultimit pada ujung tiang bor dapat dinyatakan dengan rumus :

$$Q_p = q_p \times A$$

Dimana Q_p = Daya dukung ultimit ujung tiang (ton); q_p = Tahanan ujung per satuan Luas (ton/m^2); A = Luas penampang tiang bor (m^2). Pada tanah kohesif besarnya tahanan ujung per satuan luas (q_p), dapat diambil sebesar $9 \cdot \text{Kuat geser tanah } (S_u)$, sedangkan untuk tanah non kohesif Reese mengusulkan korelasi antara q_p dengan N_{spt} seperti pada gambar berikut ini. Untuk $N_{spt} < 60$, maka $q_p = 2/3 \cdot N_{spt}$.

Sedangkan untuk menghitung daya dukung selimut dapat dinyatakan dengan rumus

$$Q_s = f_s \times L \times P$$

Dimana : Q_s = Daya dukung ultimit selimut tiang (ton); f_s = gesekan selimut tiang (ton/m^2); L = panjang tiang (m); P = Keliling penampang tiang (m)

Menurut Reese dan Wright, gesekan selimut tiang per satuan luas dipengaruhi oleh jenis tanah dan parameter kuat geser tanah. Untuk tanah kohesif gesekan selimut tiang dapat menggunakan formula sebagai berikut :

$$f_s = a \cdot c_u$$

Dimana : a = faktor adhesi; c_u kohesi tanah (ton/m^2).

Berdasarkan hasil penelitian reese, faktor koreksi terhadap adhesi (a) dapat diambil sebesar 0,55, sedangkan untuk tanah non-kohesif nilai f_s dapat diperoleh dari korelasi langsung dengan N_{spt} .

Keterangan : untuk mencari kuat geser tanah (S_u) dapat diperoleh dari korelasi N_{spt}

2.5.4.Desain Pile Cap

Dalam perencanaan pile cap pondasi tiang, selain diperhitungkan tulangan momen lentur juga pada tinjauan tulangan dan ketebalan pondasi baik terhadap geser satu arah maupun geser pons. Perencanaan tulangan momen pada prinsipnya seperti pelat kantilever.

• Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah diperoleh dari hasil pengujian tanah melalui sondir dan bor. Hasil data tersebut selanjutnya dianalisis menurut Persmaan Terzaghi (1943).

- Untuk pondasi lajur/menerus: $q_u = c'.Nc + q.Nq + \frac{1}{2}.\gamma.B.N\gamma$
- Untuk pondasi persegi: $q_u = 1,3.c'.Nc + q.Nq + 0,4.\gamma.B.N\gamma$
- Untuk pondasi lingkaran: $q_u = 1,3.c'.Nc + q.Nq + 0,3.\gamma.B.N\gamma$

Daya dukung tanah ijin, $q_a = \frac{q_u}{SF}$

Daya dukung ultimate untuk suatu tiang pancang, Q_u :

$$Q_u = Q_p + Q_s; Q_p = A_p.q_p = A_p.(c'.N_c^* + q'.N_q^*); Q_s = \sum p.\Delta L.f$$

dengan : A_p = luas penampang ujung tiang; c' = nilai koesi tanah pada ujung-ujung tiang; q' = tegangan vertikal efektif pada ujung tiang. N_c^* ; N_q^* = faktor kapasitas ujung; p = keliling penampang tiang pancang. ΔL = panjang tiang pada lapisan tanah yang ditinjau f = nilai tahanan friksi.

Dimensi yang direncanakan meliputi : panjang, lebar dan ketebalan telapak pondasi. Semuanya harus di desain sedemikian rupa, sehingga tegangan yang terjadi pada dasar pondasi tidak melebihi daya dukung tanah dibawahnya. Sebelum dilakukan perencanaan tulangan perlu diperhitungkan lebih dahulu beban aksial dan momen yang bekerja pada ponasi tersebut. Beban aksial selain dari beban struktur di atasnya, juga dipertimbangkan beban akibat tanah urug dan berat sendiri pelat. Selimut beton untuk pelat pondasi sebaiknya lebih dari 75 mm untuk mencegah terhadap agitasi lingkungan tanah yang tidak menguntungkan terhadap perkaratan tulangan. Tulangan lentur dipilih minimum 12 mm, agar spasi antar tulangan tidak terlalu rapat. Umumnya tulangan geser tidak diperlukan karena ketebalan pelat pondasi sudah cukup memadai menahan gaya geser, dan untuk menghindari terjadinya susutan cor beton maka pada bagian desak beton (bagian atas pelat) diberi tulangan susut sesuai dengan batas minimum yang diperlukan.

Langkah perhitungan tulangan secara umum sebagai berikut:

(1) Hitung beban terfaktor, P_u

$$q_u = \frac{P_u}{A}$$

(2) Tentukan tegangan tanah hasil penyelidikan tanah, q_u

$$q_u = \frac{Pu}{A}$$

(3) Hitung luasan pondasi $A = B \cdot L$

(4) Menghitung Tulangan Pondasi

Beban yang bekerja pada pondasi adalah beban dari reaksi tegangan tanah yang bergerak vertikal ke atas akibat adanya gaya aksi vertikal kebawah (P_u) yang disalurkan oleh kolom. Tulangan pondasi dihitung berdasarkan momen maksimal yang terjadi pada pondasi dengan asumsi bahwa pondasi dianggap pelat yang terjepit dibagian tepi- tepi kolom. Menurut SNI 2847-2019, tulangan pondasi telapak berbentuk bujur sangkar harus disebar merata pada seluruh lebar pondasi.

(5) Hitung momen akibat beban merata pada bentang bersih pelat pondasi.

$$M_u = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l^2$$

$$M_u = \frac{1}{2} \cdot (P_{netto} \cdot b) \cdot \left(\frac{b}{2} - \frac{k}{2} \right)^2$$

(6) Hitung momen nominal M_n dengan memberikan faktor reduksi kekuatan $1/\phi$ dengan $\phi = 0,9$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

(7) Hitung rasio tulangan pelat pondasi

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \quad , \quad R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad , \quad \rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - 2m \cdot R_n} \right]$$

(8) Hitung tulangan tarik A_s pelat pondasi.

$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot 1000 \cdot d$ --> (kebutuhan untuk per meter lebar plat pondasi);

$A_{s \text{ min}} = 0,002 \cdot b \cdot h$. dan $A_s \text{ terpakai} > A_{s \text{ perlu}}$.

• Mengontrol Kuat Geser

Untuk memastikan aman terhadap geser perlu dilakukan kontrol terhadap geser pons dan geser 1 arah. Kerusakan akibat gaya geser 1 arah terjadi pada keadaan dimana mula- mula terjadi retak miring pada daerah beton tarik (seperti *creep*), akibat distribusi beban vertikal dari kolom (P_u kolom) yang diteruskan ke pondasi sehingga menyebabkan bagian dasar pondasi mengalami tegangan. Akibat tegangan ini, tanah memberikan respon berupa gaya reaksi vertikal ke atas (gaya geser) sebagai akibat dari adanya gaya aksi tersebut. Kombinasi beban vertikal P_u kolom (ke bawah) dan gaya geser tekanan tanah ke atas berlangsung sedemikian rupa hingga sedikit demi sedikit membuat retak miring tadi semakin menjaral keatas dan membuat daerah beton tekan semakin mengecil. Kerusakan pondasi yang diakibatkan oleh gaya geser 1 arah ini biasanya terjadi jika nilai perbandingan antara nilai a dan nilai d cukup kecil, dan karena mutu beton yang digunakan juga kurang baik, sehingga mengurangi kemampuan beton dalam menahan beban tekan. Kuat geser 2 arah atau biasa disebut juga dengan geser pons, dimana akibat gaya geser ini pondasi mengalami kerusakan di sekeliling kolom dengan jarak kurang lebih $d/2$.

3. METODOLOGI STUDI

Pada studi ini studi kasusnya perencanaan gedung perkuliahan Fakultas Hukum UGM Yogyakarta. Dalam perencanaan gedung tersebut berada di kawasan eksisting yang sudah rapat gedung lama 3 lantai dan beberapa gedung baru 7 lantai. Penyelidikan tanah selain dari data sekunder berupa dokumen perencanaan gedung serupa 7 lantai di sekitar area perencanaan, juga perlu dilakukan pengambilan langsung tanah untuk diteliti secara laboratorium. Sebelum dilakukan penelitian lebih lanjut diperlukan data-data untuk mendukung penelitian ini. Data primer diperoleh langsung dari hasil pengamatan penyusun dan hasil diskusi perencanaan. Data sekunder yang diperoleh PT. Poladata Consultan dan referensi lain lain yang terkait dengan tema.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian tanah

Pengujian penyelidikan tanah *Cone Penetration Test* (CPT) pada lokasi perencanaan Fakultas Hukum UGM dilakukan di 2 titik (S-1 dan S-2). Berdasarkan hasil penyelidikan tanah menunjukkan bahwa lapisan tanah disekitar area lokasi proyek FH UGM adalah berupa tanah berpasir dengan kedalaman muka air tanahnya adalah pada elevasi -4,00 m. Penyelidikan tanah berupa dua buah titik sondir (CPT) dan satu buah titik bor (SPT). Hasil sondir di titik S-1 dan di titik S-2 pada kedalaman -13.40 m nilai perlawanan konus qc mencapai $> 600 \text{ kg/cm}^2$.

Hasil pengujian tanah dengan pengeboran tanah atau Standard Penetration Test (SPT) pada kedalaman -13.40 m dengan 24 N pukulan berada pada zona lapisan pasir kasar. Hasil SPT pada kedalaman -13 m jumlah N pukulan hanya pada angka 23-27 dan terus bertambah nilai N-SPT nya sampai kedalaman boring akhir -30 m sebesar 40 . Dari hasil pengujian CPT di titik S-1 dan titik S-2 telah di ketahui kedalaman -13.40 m dengan kondisi muka air tanah -4.00 m, dan dari hasil pengujian bor (SPT) pada titik B-1 sedalam -30,00 m. Daya dukung ujung pondasi *bored pile (end bearing)* , berdasarkan grafik Reese and Wright (1977), nilai q_p untuk $N(SPT)$ dibawah 60 , maka: $q_p = 2/3 \cdot N(SPT)$, $N(38) q_p = 2/3 \cdot 38 = 25,33 \text{ t/ft}^2 = 272,328 \text{ t/m}^2$. Gesekan selimut tiang per satuan luas dipengaruhi oleh jenis tanah dan parameter kuat geser tanah. Berdasarkan penelitian Reese and Wright (1977); untuk Tanah non Kohesif dengan $N(SPT) < 53$ maka $f_s = 0,0294 N-SPT (T/ft^2) = 0,32 N-SPT (Ton/m^2)$ dan $53 < N(SPT) < 100$ maka f_s diperoleh dari korelasi langsung dengan grafik NSPT (Reese dan Wright, 1977) . Untuk $N(38)$ maka $f_s = 0,0294 \cdot 38 = 1,118 \text{ t/ft}^2 = 12,014 \text{ t/m}^2$.

4.2. Daya Dukung Tanah

Perhitungan kapasitas daya dukung bored pile dari data SPT memakai metode Reese & Wright dan data diambil pada titik F1. Data bored pile: Diameter bored pile (d) = 80 cm = 0,8 m, Keliling bored pile (K) = $\pi \cdot d = 3,14 \cdot 0,8 = 2,513 \text{ m}$, Luas bored pile (A) = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,8^2 = 0,503 \text{ m}^2$, Kedalaman bore pile (L) = 28 m, Luas gesek (A_{gs}) = $K \cdot L = 2,513 \cdot 28 = 70,372 \text{ m}^2$. N-SPT rata-rata = 38 pukulan, daya dukung (q_p) = $272,328 \text{ t/m}^2$. daya dukung ujung pondasi bored pile (*end bearing*) pada kedalaman 28 m, $Q_p = q_p \cdot A_p = 272,328 \cdot 0,503 = 136,8871 \text{ ton}$, daya dukung selimut pada tanah kohesif $Q_s = 14,50 \text{ ton}$ (kohesif),

$Q_u = Q_{st} + Q_p - A \cdot L \cdot 2,4 = 573,72 + 136,887 - 0,502 \cdot 28 \cdot 2,4 = 676,8267 \text{ ton}$. *Safety Factor* (SF) diambil = 3 ;

$$Q_{all} = Q_u / SF = 676,8267 / 3 = 225,6089 \text{ ton}$$

Dari hasil perhitungan daya dukung pada salah satu titik F-1 dengan perencanaan diameter bored pile D-80 cm (0,80 m), maka diperoleh nilai $q_{st} = 573,72 \text{ ton}$, $q_p = 136,887 \text{ ton}$, $q_u = 676,827 \text{ ton}$, $q_{all} = 225,609 \text{ ton}$ dengan factor aman (*safety factor* = 3).

Pengaruh Daya Dukung Tanah dalam Penentuan Pondasi Bore Pile dan Pile Cap pada Gedung Bertingkat. (Nurohkmann, M. Ryan Iskandar, Nufri Farid Hanafi dan M. Irfan Marabessy)

4.3. Perencanaan Bored Pile

4.3.1. Perhitungan beban dan momen maksimum.

Dalam studi kasus ini dipilih salah satu titik bored pile F1 dengan data properti tanah dan mekanika struktur yang sudah diperoleh dari konsultan perencana dengan diameter *bored pile* (d) = 80 cm = 0,8 m², beban $P_{max} = 657,43$ ton, momen M_{max} arah $x = 81,1$ Tm, momen M_{max} arah $y = 72,1$ Tm, gaya transversal F_x max = 46,25 Tm dan , gaya transversal F_y max = 51,64 Tm. Untuk perhitungan jumlah tiang dalam satu pondasi diperlukan simulasi bebrapa model jumlah pile untuk mendapatkan effisiensinya. Untuk beban pondasi pada kasus pondasi F1 dengan beban $P_u = 657,430$ ton , kedalaman $L = 28$ m, dan daya dukung $q_{all} = 225,6089$ ton.

4.3.2. Pemilihan Jumlah Dan Tipe Bored Pile.

Pemilihan jumlah dan tipe *bored pile* didasarkan pada nilai effisiensi, dimana jumlah, $n = P_u / (q_{all} \cdot Eff)$. Untuk tipe 2 tiang, denga effisiensi 0,938, maka jumlah tiang, $n = 657,430 / (225,6089 \cdot 0,938) = 3,25$ sehingga dipilih n terpakai 4 tiang. Untuk jumlah 3 tiang dan 4 tiang dihitung dengan rumus yang sama. Dari hasil simulasi pondasi F1 dengan beberapa jumlah tiang *bored pile* diameter *bored pile* (d) = 0,8 m², beban $P_{max} = 687,43$ ton dengan daya dukung $q_{all} = 225,609$ ton, dan factor aman (*safety factor* = 3). dipilih yang efektif dengan pertimbangan kemudahan pelaksanaan dan posisi titik pondasi dipilih pondasi dengan 4 tiang dengan effisiensi (Eff) 0,815.

4.4. Perencanaan Pile Cap

Dari hasil perhitungan jumlah tiang *bore pile* pada pondasi F1 sebanyak 4 tiang, maka selanjutnya perhitungan pile cap untuk mutu beton $f_c' = 25$ MPa, mutu baja $f_y = 390$ MPa dengan beton normal $w_c = 24$ kN/m³. Dari hasil perhitungan jumlah tiang bore pile pada pondasi F1, muntu beton $F_c' = 25$ MPa, mutu baja $f_y = 390$ MPa, ukuran kolom 0,80 x 0,80 m²; jarak tiang pancang tepi terhadap sisi luar beton, $a = 1,00$ m; tebal pilecap $h = 1.25$ m, tebal tanah di atas *pilecap* $z = 0$ m; posisi kolom $\alpha_s = 40$, gaya lateral akibat beban terfaktor $H_{ux} = 462,50$ kN, $H_{uy} = 516,40$ kN; Tahanan aksial tiang pancang, $\phi \cdot P_n = 2256,09$ kN ; Tahanan lateral tiang pancang $\phi \cdot H_n = 0,00$ kN. Dari hasil perhitungan maka dipilih tebal 1,25 m dan ukuran pile cap 3,6 m x 3,6 m.

1. Gaya Aksial Pada Tiang Pancang

Gaya aksial dihitung dengan asumsi berdasarkan beban titik aksial kolom P_{uk} ditambah beban berat tanah di atas pilecap W_s dan berat pilecap itu sendiri W_c dengan factor beban masing-masing sebagai beban mati. Berat tanah di atas pilecap, $W_s = L_x \cdot L_y \cdot z \cdot w_s = 0,00$ kN, berat pilecap, $W_c = L_x \cdot L_y \cdot h \cdot w_c = 388,80$ kN, Total gaya aksial terfaktor, $P_u = P_{uk} + 1.2 \cdot W_s + 1.2 \cdot W_c = 7340,86$ kN, Lengan maksimum tiang pancang arah x thd. pusat, $x_{max} = 0,80$ m, Lengan maksimum tiang pancang arah y thd. pusat $y_{max} = 0,80$ m, Lengan minimum tiang pancang arah x thd. pusat, $x_{min} = -0,80$ m, Lengan minimum tiang pancang arah y thd. pusat, $y_{min} = -0,80$ m, Gaya aksial maksimum dan minimum pada tiang pancang.

$$P_{umax} = P_u / n + M_{ux} \cdot x_{max} / \Sigma x^2 + M_{uy} \cdot y_{max} / \Sigma y^2$$

$$= 6874,30 / 4 + 811,00 \cdot 0,8 / 2,56 + 721,00 \cdot 2,56 / 2,56 = 2313,97 \text{ kN}$$

$$P_{umin} = P_u / n + M_{ux} \cdot x_{min} / \Sigma x^2 + M_{uy} \cdot y_{min} / \Sigma y^2$$

$$= 6874,30 / 4 - 811,00 \cdot 0,8 / 2,56 - 721,00 \cdot 2,56 / 2,56 = 1356,47 \text{ kN}$$

$$\text{Syarat : } P_u \text{ max} = 2313,97 \text{ kN} > \phi \cdot P_n = 2256,09 \text{ kN} \rightarrow \text{tidak memenuhi,}$$

2. Tinjauan Geser Arah

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 0,100$ m, tebal efektif pilecap $d = h - d' = 1,150$ m, jarak bidang kritis terhadap sisi luar $c_x = 0,825$ m, Berat beton, $W1 = 89,100$ kN, Berat tanah, $W2 = 0,000$ kN, Gaya geser arah x, $V_{ux} = 4538,830$ kN, lebar bidang geser untuk tinjauan arah x, $b = L_y = 3600$ mm, tebal efektif pilecap, $d = 1150$ mm. Kuat geser pilecap arah x, diambil nilai terkecil dari V_c yang diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$V_c = [1 + 2 / bc] \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d / 6 \cdot 10^{-3} = 10350,000 \text{ kN}$$

$$V_c = 1 / 3 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \cdot 10^{-3} = 6900,000 \text{ kN}$$

Diambil, kuat geser pilecap, $V_c = 6900,000$ kN,

$$\text{geser pilecap } \phi \cdot V_c = 6900 \cdot 0,75 = 4950,000 \text{ kN,}$$

Syarat yang harus dipenuhi, $\phi \cdot V_c (4950,000 \text{ kN}) > V_{ux} (4538,830 \text{ kN}) \rightarrow \text{Aman (ok)}$

3. Tinjauan Geser Dua Arah (Pons)

Ukuran pilecap, $L_x = 3,600$ m, $L_y = 3,600$ m tebal $H = 1,200$ m. Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 0,100$ m, tebal efektif pilecap, $d = h - d' = 1,150$ m, lebar bidang geser pons arah x, $B_x = b_x + d = 1,950$ m. Lebar bidang geser pons arah y, $B_y = b_y + d = 1,950$ m. Gaya geser pons akibat beban terfaktor pada kolom, $P_{uk} = 6574,300$ kN. Luas bidang geser pons, $A_p = 2 \cdot (B_x + B_y) \cdot d = 8,970$ m². Lebar bidang geser pons, $b_p = 2 \cdot (B_x + B_y) = 7,800$ m, rasio sisi panjang thd. sisi pendek kolom, $bc = b_x / b_y = 1,00$. Tegangan geser pons, diambil nilai terkecil dari f_p yang diperoleh dari pers.sbb. :

$$f_p = [1 + 2 / bc] \cdot \sqrt{f_c'} / 6 = 2,500 \text{ Mpa}$$

$$f_p = [a_s \cdot d / b_p + 2] \cdot \sqrt{f_c'} / 12 = 3,291 \text{ Mpa}$$

$$f_p = 1 / 3 \cdot \sqrt{f_c'} = 1,667 \text{ MPa}$$

Tegangan geser pons yang disyaratkan, $f_p = 1,667$ MPa

$$\text{Kuat geser pons, } \phi * V_{np} = \phi \cdot A_p \cdot f_p \cdot 10^3 = 10450,000 \text{ kN}$$

Cek: $\phi \cdot V_{np} (10450,000 \text{ kN}) > P_{uk} (6874,300)$ memenuhi.

Dari hasil simulasi pondasi F1 dengan beberapa jumlah tiang bored pile diameter *bored pile* ($d = 0,8$ m², beban $P_{max} = 687,43$ ton dengan daya dukung $q_{all} = 225,609$ ton, dan factor aman (*safety factor* = 3). dipilih yang efektif dengan pertimbangan kemudahan pelaksanaan dan posisi titik pondasi dipilih pondasi dengan 4 tiang dengan efisiensi (Eff) = 0,815.

Hasil hasil perhitungan terhadap geser satu arah sumbu X dan sumbu Y serta geser pons pilecap untuk borepile diameter 80 cm jumlah 4 buah dengan ukuran pilecap 3,6 m x 3,6 m tebal 1,2 m.

4. Penulangan Pile Cap

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar foot plat, $x = (B_x - b_x) / 2 = 0,900$ m¹.

Tegangan tanah pada tepi kolom,

$$q_x = q_{min} + (B_x - a_x) / B_x \cdot (q_{max} - q_{min}) = 301,430 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{ux} = 1/2 \cdot a_x^2 \cdot [q_x + 2/3 \cdot (q_{max} - q_x) - q] \cdot B_y = 273,768 \text{ kNm}$$

Lebar plat fondasi yang ditinjau, = $B_y = 1800$ mm

Tebal plat fondasi, $h = 400$ mm

Jarak pusat tulangan thd. sisi luar beton, $d' = 75$ mm

Tebal efektif plat, $d = h - d' = 325$ mm

Kuat tekan beton, f_c' = 25 Mpa
 Kuat leleh baja tulangan, f_y = 390 MPa
 Modulus elastis baja, E_s = 200.000 MPa
 Faktor distribusi teg. beton, β_1 = 0,85
 $\rho_b = \beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c' / f_y \cdot 600 / (600 + f_y)$ = 0,0224553
 Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,90$; $R_{max} = 5,299$; $M_n = M_{ux} / \phi = 342,210$ kNm; $R_n = M_n \cdot 10^6 / (b \cdot d^2) = 1,79992$; Rasio tulangan yang diperlukan, $\rho = 0,0049 > \rho_{min} = 0,0025$. Maka ditentukan tulangan D16-120 mm ($A_s = 3015,93$ mm²).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Pengujian penyelidikan tanah Cone Penetration Test (CPT) pada lokasi perencanaan Gedung Fakultas Hukum UGM dilakukan di 2 titik (S-1 dan S-2) yang menunjukkan muka air tanah elevasi -4,00 m, dan pengeboran tanah atau *Standard Penetration Test (SPT)* pada kedalaman -13.40 m nilai perlawanan konus q_c mencapai > 600 kg/cm².
2. Berdasarkan metode Reese & Wright untuk studi kasus Pondasi F1 dipasang 4 bored pile diameter (d) = 0,8 m², kedalaman (L) = 23- 28 m, daya dukung (q_p) = 272,328 t/m², *Safety Factor (SF)* = 3.
3. Perencanaan pile cap dengan pertimbangan beban aksial $P_{umax} = 6574,30$ kN, momen $M_{umax} = 811,00$ kNm, gaya geser $H_{umax} = 516,40$ kN ditetapkan dimensi tebal 1,25 m dan ukuran pile cape 3,6 m x 3,6 m dengan tulangan D16-120 mm telah memenuhi syarat dari geser satu arah dan geser dua arah (pons).
4. Untuk pertimbangan kemudahan pelaksanaan dapat dievaluasi Kembali dengan opsi bore pile D 60 cm yang akan terkait jumlah tiangnya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2002, Standar Nasional Indonesia Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002, Direktorat Penyelidik Masalah Bangunan, Direktorat Jendral Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum, Bandung
- Anonim, 2019, **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI-1726-2019)**, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim, 2019, **Tata Cara Penghitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI-2847-2019)**, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim, 2017, **Baja Tulangan Beton (SNI 2052:2017)**, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Ardiansyah, Rony. 2010. **Korelasi Hasil Percobaan CPT Dengan SPT Pada Lokasi Pusat Kota Pekanbaru**. Universitas Islam Riau, Bandung.
- Hardiyatmo, H.C (a). 2002. **Mekanika Tanah I**. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C (b). 2003. **Mekanika Tanah II**. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Muhammad Wahyuddin, dkk, 2019, **Analisis dan Perencanaan Pondasi Tiang Bored Pile pada Jembatan Jalur Ganda Kereta Api Bekri Kabupaten Lampung Tengah**, JRSDD, Edisi Desember 2019, Vol. 7, No. 3, Hal:495 – 504 (ISSN:2303-0011)
- 36 Pengaruh Daya Dukung Tanah dalam Penentuan Pondasi Bore Pile dan Pile Cap pada Gedung Bertingkat. (Nurohkman N, M. Ryan Iskandar, Nufrizal Farid Hanafi dan M. Irfan Marabessy)

- Nurokhman, 2013. **Struktur Beton bertulang II**, teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Cokroaminoto Yogyakarta.
- Vidayanti, Desiana, Simatupang, Pintor. T., Silalahi Sido. 2013. **Korelasi Nilai N- SPT dengan Parameter Kuat Geser Tanah untuk Wilayah Jakarta dan Sekitarnya**. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTeks 7), UNS: Surakarta.