

ANALISA DAYA DUKUNG PONDASI TIANG *BORE PILE* PADA PEMBANGUNAN PROYEK *FLY OVER* MARTADINATA KOTA TANGERANG

Fatmawati Oemar, Tri Rahmat Utama, Panji Wijaksono,

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Jayabaya,
email : panjiwijaksono02@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan di berbagai daerah perkotaan yang padat penduduk salah satunya ada di Kota Tangerang. Pemerintah kota Tangerang berfokus terhadap infrastruktur lainnya seperti gedung bertingkat, bendungan, hingga akses jalan. Salah satu akses jalan yang sedang di laksanakan adalah pembangunan fly over Martadinata. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui nilai daya dukung pondasi bore pile dan nilai penurunan tiang pondasi bore pile yang terjadi di proyek pembangunan flyover Martadinata. Dalam melaksanakan penelitian ini, penulis menggunakan metode penelitian yaitu metode penelitian deskriptif. Dalam pengambilan data menggunakan data sekunder yaitu data yang diperoleh dari proyek pembangunan fly over Martadinata yang dikelola oleh Manajemen Konstruksi PT.Likatama Graha Mandiri sedangkan data primer diperoleh dari survey langsung di lapangan. Analisa penelitian yang digunakan dari data N-SPT dengan menganalisa kapasitas daya dukung menggunakan metode (Reese & O'neil) dan untuk penurunan pondasi tiang menggunakan metode (Poulos dan Davis). Dari hasil perhitungan perencanaan pondasi tiang pancan bore pile dengan data N-SPT pada kedalaman 21m dan diameter 1m sedangkan mutu beton digunakan mutu beton sebesar 30mpa. Hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang bored pile dengan metode analitis (Resse dan O'Neil) pada tanah non-kohefif didapatkan nilai sebesar 1134,96 kN dengan pembagi faktor aman ($SF=2,5$) sedangkan Hasil penurunan pondasi tiang bored pile dengan metode analitis (Poulos dan Davis) pada tanah non-kohefif dengan nilai PDA test sebesar 1280 Ton didapatkan nilai penurunan sebesar 6,23mm dimana syarat untuk memenuhi penurunan pondasi $S \leq S$ ijin, dengan demikian perhitungan penurunan pondasi sudah memenuhi syarat.

Kata kunci : Daya dukung, Bored Pile ,Penurunan, N-SPT, Pondasi

PENDAHULUAN

Pembangunan di berbagai daerah perkotaan yang padat penduduk salah satunya ada di Kota Tangerang. Kota Tangerang semakin tahun mengalami peningkatan. Tidak hanya fokus terhadap pembangunan perumahan, dan gedung sederhana. Pemerintah kota Tangerang berfokus terhadap infrastruktur lainnya seperti gedung bertingkat, bendungan, hingga akses jalan. Salah satu akses jalan yang sedang di laksanakan adalah proyek *fly over* Martadinata.

Pembangunan *fly over* Martadinata berlokasi tepat di daerah Kota Madya Tangerang Selatan (Pamulang–Kota Tangerang). *Fly over* ini dibuat oleh Pemprov Kota Tangerang adalah untuk meningkatkan pelayanan masyarakat Kota Tangerang Selatan untuk sarana dan prasarana umum, serta mengatasi kemacetan persimpangan jalan nasional dan jalan provinsi, sehingga dapat meningkatkan aksesibilitas penggunaan jalan dan mendukung distribusi logistik yang berdampak langsung ada laju perekonomian masyarakat Kota Tangerang Selatan.

Fungsi pondasi adalah untuk mentransfer beban dari bangunan atas (*upper structure*) ke bagian lapisan tanah, maka banyak sekali metode yang dapat di gunakan sebagai sarana untuk mencapai tujuan pembangunan ini, sehingga tidak merugikan masyarakat dan pihak lainnya. Dalam hal ini banyak pilihan metode yang dapat dipilih oleh Pemerintah Kota Tangerang Selatan untuk pembangunan *fly over* Martadinata, tetapi metode yang efektif untuk di gunakan adalah pondasi tiang bor (*Bore Pile*). Hal ini untuk mengurangi adanya getaran pada bangunan gedung bertingkat disekitar akibat *hammer* atau mesin lainnya yang digunakan saat pemancangan ketika proses pembangunan *fly over* Martadinata. Pondasi tiang *bored pile* yaitu suatu pondasi yang akan dibuat dengan cara pengeboran tanah terlebih dahulu, lalu diisi dengan *reinforcement* dan dilakukan pengecoran. Secara umum masalah pondasi dalam lebih rumit dibandingkan pondasi dangkal sehingga pada proyek *fly over* Martadinata akan membahas mendalam mengenai pondasi tiang bor. Oleh karena itu sehubungan dengan hal tersebut maka penulis mengambil judul skripsi “*Analisa Daya Dukung Tiang Pondasi Bore Pile Pada Pembangunan Infrastruktur Flyover Martadinata Kota Tangerang*”

RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Berapa daya dukung pondasi menggunakan data Standart Penetration Test (SPT)?
2. Berapa besar nilai hasil penurunan pada pondasi tiang *bored pile*?

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui nilai hasil daya dukung pondasi tiang *bored pile* di pembangunan *fly over* Martadinata berdasarkan data *Standart Penetration Test* (SPT) menggunakan metode Resse & O’neil.
- b. Mengetahui hasil dari nilai penurunan tiang tunggal dengan metode Poulos dan Davis.

MANFAAT TUGAS AKHIR

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah :

- a. Menambah pengetahuan praktis ketekniksipil dari pembimbing, sehingga menambah pengetahuan bagi penulis yang nantinya dapat diaplikasikan selama di lapangan.
- b. Sebagai kajian bagi siapa saja yang membacanya dan memerlukan terutama bagi mahasiswa teknik sipil yang melakukan studi kasus yang sama.
- c. Diharapkan bermanfaat sebagai media perkembangan ilmu sains di bagian bidang geoteknik, terutama fondasi tiang *bored pile* bagi studi kasus dan pihak-pihak terkait.
- d. Sebagai bahan penelitian selanjutnya dengan membandingkan metode analitis yang lain.

LANDASAN TEORI

Pondasi

Pondasi yaitu bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan ke dalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya (Bowles, 1997). Suatu perencanaan pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh Pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan (Das, 1995). Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ketanah atau batuan yang berada di bawahnya (Hardiyatmo, 1996).

Pondasi Tiang Bored Pile

Pondasi yaitu bagian dari suatu sistem Pondasi *bored pile* yaitu suatu dari pondasi yang dibangun dengan metode pengeboran dari tanah terlebih

dahulu, baru kemudian diisi dengan *reinforce* dan dicor. Tiang *bored pile* biasanya dipakai pada tanah yang stabil dan *rigid*, sehingga dapat memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan menggunakan alat bor. Jika tanah ini mengandung air, pipa besi yang data dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran. Pada tanah tiang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat perbesar untuk meningkatkan nilai tahanan dukung ujung tiang. Daya dukung pondasi bored pile dapat diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara pondasi bored pile dan tanah disekelilingnya. Pondasi *bored pile* bersinambung dengan tanah untuk menciptakan nilai daya dukung yang mampu memikul dan memberikan suatu keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan nilai daya dukung yang optimal dan akurat maka diharuskan suatu kegiatan penyelidikan tanah yang akurat juga. Ada dua hal metode yang biasa digunakan dalam penentuan nilai kapasitas daya dukung pondasi *bored pile* yaitu dengan menggunakan metode statis maupun metode dinamis.

Kapasitas Ultimit Cara Statis

Kapasitas dukung ultimit tiang dengan metode cara statis dihitung dengan ilmu yang terdapat pada buku mekanika tanah. Skema dari bidang runtuh mengalami suatu dari pembebanan tekan dan yang menahan beban dengan mengerahkan tahanan ujung dan tahanan gesek dindingnya. Kapasitas *ultimit netto* tiang tunggal (Q_u), yaitu jumlah dari tahanan ujung bawah ultimit (Q_b) dan tahanan gesek ultimit (Q_s) antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya dikurangi dengan berat sendiri tiang. Bila dinyatakan dalam persamaan :

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p$$

dengan,

W_p = berat sendiri dari tiang (kN)

Q_u = kapasitas nilai daya dukung ultimit neto (kN)

Q_b = tahanan ujung di bawah ultimit (kN)

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

Persamaan tahanan ujung ultimit :

$$Q_b = A_b \cdot f_b$$

dengan,

Q_b = tahanan ujung ultimit (kN)

A_b = luas penampang ujung tiang (m^2)

f_b = tahanan ujung persatuan luas (kN/m^2)

Persamaan tahanan gesek tiang ultimit :

$$Q_s = A_s \cdot f_s$$

dengan,

Q_s = tahanan gesek tiang ultimit (kN)

A_s = luas selimut tiang (m^2)

f_s = tahanan gesek persatuan luas (kN/m^2)

Perhitungan Tanah Kohesi Menggunakan Metode O'neil & Reese (1989)

1. Tahanan Ujung Ultimit

O'Neil dan Reese (1989) sangat merekomendasikan tahanan ujung tiang *bore pile* didalam tanah lempung sebagai berikut :

$$f_b = C_u N_c' \leq 4000 \text{ kpa}$$

$$N_c' = 6 \left(1 + 0.2 \frac{L}{d_b} \right) \geq 9$$

dengan,

N_c' = faktor kapasitas nilai dukung

C_u = kohesi tidak terdrainase (*undrainaed*) (kpa)

L = kedalaman ujung bawah tiang bor (m)

d_b = diameter ujung bawah tiang *bored pile* (m)

Tabel 1. Hubungan nilai-nilai C_u , I_r , dan N_c' yang disarankan oleh O'Neill dan Reese (1999)

Kohesi tak terdrainase (C_u), kpa	Indeks kekakuan tanah (I_r)	Faktor kapasitas dukung (N_c')
24,00	50,00	6,550
48,00	150,00	8,010
96,00	250,00	8,690
192,00	300,00	8,940

Sumber: Hardiyatmo; analisa dan perancangan pondasi II

2. Tahanan Gesek

Tahanan gesek dihitung dengan persamaan :

$$f_s = \alpha C_u$$

dengan,

α = faktor adhesi

C_u = kohesi tak terdrainase ($2 \cdot \frac{I_r}{d_b}$) (kN/m^2)

Dari hasil uji beban pada tiang *bored pile*, O'Neill dan Reese (1999) menyarankan :

$$\alpha = 0,55 \text{ untuk } C_u / P_r < 1,50 \Rightarrow C_u < 150 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0,55 - 0,1 C_u (C_u / P_r < 1,50)$$

$$\text{untuk } < 1,50 \quad C_u / P_r < 2,5$$

dengan,

C_u = kohesi tak terdrainase

P_r = tekanan atmosfer atau tekanan referensi : 100,00 kPa

Dalam menghitung f_s bagian sedalam 1,5 dari puncak tiang *bored pile* dan 1d dari bagian di atas pembesaran ujung tidak diperhitungkan. Apabila suatu tiang *bored pile* ujungnya diperbesar, maka tahanan gesek setinggi 1,5m dari puncak tiang dan 1d dari dasar tiang tidak diperhitungkan. Reese dan O'Neill juga membatasi tahanan gesek per satuan luas f_s maksimum 240,00 kPa. Nilai-nilai yang dianjurkan tersebut hanya data berlaku untuk tanah lempung tidak sensitif dengan nilai sensitivitas maksimum kurang dari 4.

Perhitungan Tanah Non Kohesi Menggunakan Metode O'neil & Resse (19889)

1. Tahanan Ujung Ultimit

O'Neil O'Neill dan Reese (1989) dari menyatakan untuk tahanan ujung tiang *bored pile* pada penurunan 5 % dari diameter dasar tiang pada pasir, sebagai berikut :

$$Q_b = A_b \cdot f_b$$

$$f_b = 0,60 \sigma_r N_{60} \leq 4500 \text{ kPa}$$

dengan,

f_b = tahanan ujung neto per satuan luas (kPa)

N_{60} = nilai N – SPT rata – rata antara ujung bawah tiang *bored pile* sampai 2db di bawahnya. Tidak perlu dikoreksi terhadap overburden.

d_b = diameter ujung bawah tiang *bored pile* (m)

σ_r = tegangan referensi = 100 kPa

N_{60} = N-SPT yang dikoreksi terhadap prosedur pengujian.

2. Tahanan Gesek

Tahanan gesek dihitung dengan persamaan :

Pengeboran di tanah pada saat membuat tiang *bore pile* pada sekitar pasir berakibat :

- dinding disekitar lubang tanah yang di tiang *bore pile* akan lebih kasar, sehingga dapat menaikkan rasio δ/ϕ (sudut gesek antara tanah dan tiang bor terhadap sudut gesek dalam tanah).
(2.7)
- Proses dari pelaksanaan akan dapat mengurangi tegangan lateral dalam tanah, sehingga memperkecil rasio K/K_0 .
- Jika dalam proses pengeboran disini menggunakan larutan lanau atau lumpur, maka tahanan gesek akan tereduksi.

$$f_s = \beta p_o$$

$$\beta = K \tan \delta$$

dengan,

f_s = tahanan gesek satuan (kN/m²)

p_o = tekanan overburden di tengah-tengah lapisan tanah (kN/m²)

δ = sudut gesek antara tanah dan tiang (derajat)

Metode ini disebut dengan metode β . Nilai K/K_0 dilakukan pengerjaannya dalam (tabel 2.4) koefisien β juga dapat dihitung menggunakan persamaan yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989).

$$\beta = 1,5 - 0,135 \sqrt{\frac{z}{d_r}} \text{ dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,2$$

dengan, (2.8)

Z = kedalaman di tengah-tengah lapisan tanah

d_r = lebar referensi = 300 mm

Bila lebar referensi $d_r = 300,00$ mm

disubstitusikan

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z} \text{ dengan } 0,25 \leq \beta \leq 1,2$$

jika $N_{60} \leq 15$, maka β

$$\beta = \frac{N_{60}}{15} (1,5 - 0,245 \sqrt{z}) \text{ untuk } N_{60} \leq 15$$

N_{60} adalah N-SPT yang tidak dikoreksi oleh pengaruh prosedur (alat) di lapang. Berapa nilai dari β untuk tanah non kohesif (granular) yang dianjurkan oleh reese et al. (2006) :

Untuk pasir :

$\beta = 0,25$, jika $Z > 26,14$ m

Untuk pasir yang banyak mengandung kerikil atau kerikil :

$$\beta = 2 - 0,15 (z)^{0,75} \cdot 0,25$$

Untuk pasir berkerikil atau kerikil :

$$\beta = 0,25, \text{ jika } Z > 26,5$$

Untuk pasir dan pasir berkerikil, fungsi β mencapai batasnya pada kedalaman $Z = 1,5$ m dan $26,00$ m, karena itu adalah perbuatan batas-batas lapisan tanah harus dalam zona-zona di antaranya. Selain itu batas lapisan ini juga harus dibuat pada permukaan air tanah. Adapun Batasan tambahan juga harus dapat dibuat pada setiap interval 6 m, dan dimana batas dari lapisan berakhir. Setelah itu, analisis didasarkan pada macam tanahnya (lempung atau batuan).

Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal Menggunakan Metode Poulos dan Davis

Penurunan dari kepala tiang yang terletak pada tanah homogen dengan modulus elastis dan angka Poisson yang konstan dapat dihitung dengan cara merode persamaan yang dianjurkan oleh Poulos dan Davis (1980), sebagai berikut :

$$S = \frac{QI}{E_s d}$$

$$I = I_o \cdot R_k \cdot R_h \cdot R\mu$$

dengan,

S = penurunan di kepala tiang

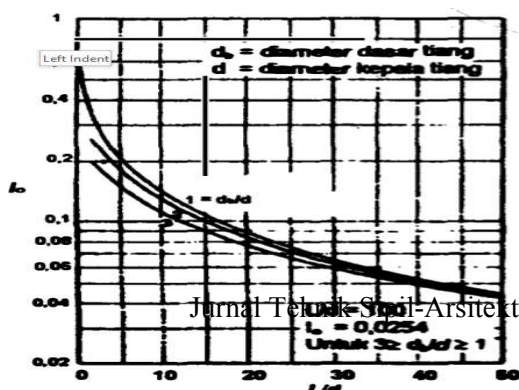
Q = beban yang bekerja

I_o = faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat (*incompressible*) dalam masa semi tak terhingga (gambar 1.)

R_k = faktor koreksi kemudahan-mapatan (kompresibilitas) tiang untuk $\mu = 0,5$ (gambar 2.)

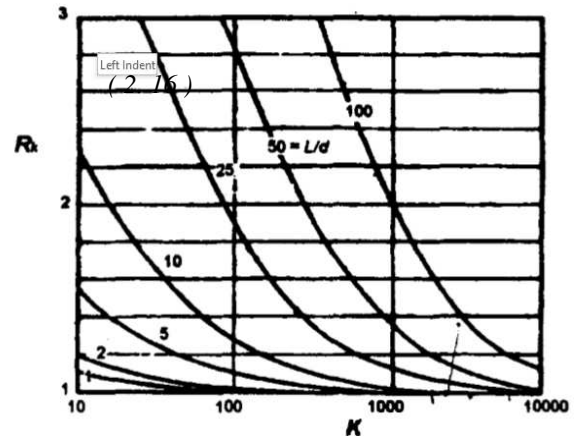
R_h = faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras (gambar 3)

$R\mu$ = faktor koreksi angka poisson μ Terlihat pada (gambar 4.) bahwa penurunan tiang berkurang jika panjang tiang bertambah.

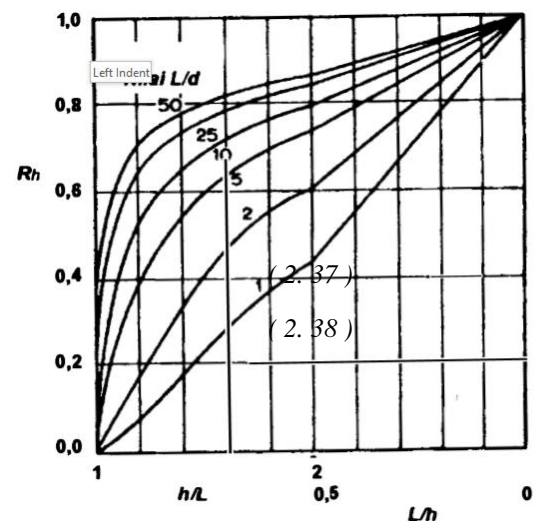


(2. 14)

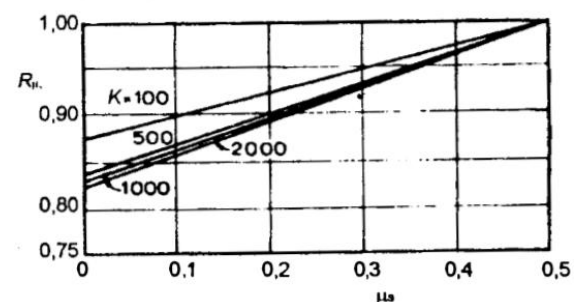
Gambar 1. Faktor penurunan I_o (Poulos dan Davis,1980)



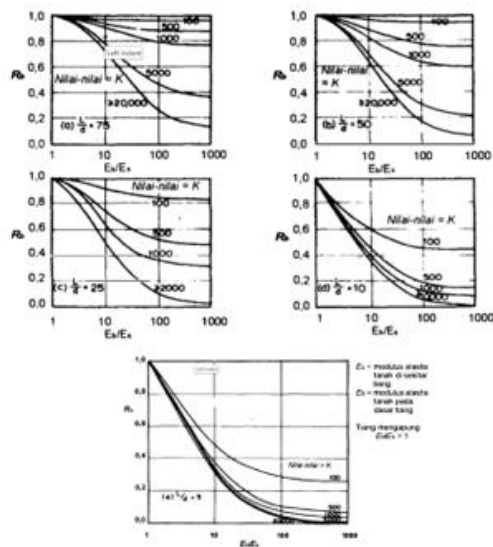
Gambar 2. Koreksi kompresi, R_k (Poulos dan Davis,1980)



Gambar 3. Koreksi kedalaman R_h (Poulos dan Davis,1980)



Gambar 4. Koreksi angka poisson μ (Poulos dan Davis, 1980)



Gambar 5. Koreksi kekakuan lapisan pendukung, R_h (Poulos dan Davis, 1980)

➤ Untuk Tiang Dukung Ujung

$$S = \frac{QI}{E_s d}$$

$$I = I_o \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_u$$

Nilai-nilai dari data koefisien juga dapat diambil dari (gambar-gambar 1. sampai 4.), dengan R_h = faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung (gambar 5). Pengaruh kekerasan pada tanah pendukung di dasar tiang yaitu untuk mengurangi penurunan. Pengaruh ini akan menjadi lebih tampak apabila pada tiang relatif pendek (tiang kaku) terletak pada lapisan pendukung yang keras. Pada (Gambar 1, 2 dan 3), K yaitu suatu ukuran kompresibilitas relatif dari tiang dan tanah yang dinyatakan oleh persamaan :

$$S = \frac{E_p R_A}{E_s} = \text{faktor kekakuan di tiang} \quad (2.41)$$

$$S = \frac{A_p}{1/4 \pi d^2} = \text{rasio area di tiang} \quad (2.42)$$

E_p dan E_s beturut-turut yaitu modulus elastis bahan tiang dan tanah, A_p yaitu luas penampang tiang. Jika tiang makin kompresibel, maka K semakin kecil.

Faktor Aman Pondasi Tiang Bored Pile

Untuk mendapatkan hasil nilai kapasitas ijin tiang, maka harus diperlukan untuk mem-bagi kapasitas

ultimit tiang dengan faktor aman tertentu. Faktor aman ini diberikan dengan maksud :

- Untuk mendapatkan hasil nilai keamanan terhadap ketidakpastian metode hitungan yang digunakan.
- Untuk mendapatkan hasil nilai keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah.
- Untuk memfokuskan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
- Untuk mendapatkan hasil dari nilai bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi.
- Untuk mendapatkan hasil dari bahwa penurunan tidak seragam dan diantara tiang-tiang masih dalam batas toleransi.
- Sehubungan dengan berbagai alasan butir (d), dari hasil ini banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang *bored pile* yang berdiameter kecil sampai sedang (600,00 mm), penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm dan untuk faktor aman tidak kurang dari 2,5 (Tomlinson 1977).

Reese dan O'Neill (1989) menganjurkan untuk pemilihan dalam faktor 2,39 (F) sebagai perancangan pondasi tiang yang harus dipertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut:

- Ketelitian penyelidikan di tanah.
- Tipe dan jumlah uji tanah yang dilakukan.
- Tipe dan kepentingan dari struktur
- Ketelitian penyelidikan di tanah.
- Variabilitas dari tanah (tanah tidak seragam).
- Pengawasan/kontrol kualitas di lapangan.
- Ketersediaan data di tempat (uji beban tiang).
- Kemungkinan beban desain aktual yang terjadi selama beban layanan struktur.

Kapasitas dari perizinan suatu tiang *bored pile*, dapat diperoleh dari jumlah banyaknya suatu tahanan ujung dan tahanan gesek dinding yang dibagi dengan faktor aman tertentu.

- Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter $d < 2,0$ m :

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5}$$

- Untuk tiang tanpa pembesaran di bagian bawahnya :

$$Q_a = \frac{Q_u}{2}$$

Untuk diameter tiang (d) lebih dari 2,0 m, kapasitas tiang ijin perlu dievaluasi kembali dari pertimbangan penurunan tiang. Selanjutnya, penurunan struktur harus pula dicek terhadap persyaratan besar penurunan toleransi yang masih diijinkan.

METODOLOGI PENELITIAN

“Metode penelitian yaitu suatu langkah yang dimiliki dan dilakukan oleh peneliti dalam melakukan suatu rangka mengumpulkan informasi atau data-data serta melakukan investigasi pada data yang didapatkan.”(Nazir,1988).

Dalam melaksanakan penelitian ini, penulis menggunakan metode penelitian yaitu metode penelitian deskriptif. “Metode deskriptif adalah metode dalam meneliti status objek, suatu set kondisi, suatu sistem pemikiran ataupun suatu kelas peristiwa pada masa sekarang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat deskripsi, gambaran, atau lukisan secara sistematis, faktual, dan akurat mengenai fakta-fakta sifat, serta hubungan antar fenomena yang diselidiki.” (Nazir,1988)

Tahap dan Prosedur Penelitian

Tahapan dalam analisis data merupakan urutan langkah yang dilaksanakan secara sistematis dan logis sesuai dasar teori permasalahan sehingga didapat analisis yang akurat untuk mencapai tujuan penulisan.

Tahapan dalam penulisan laporan penelitian ini meliputi:

1. Tahap I

Melakukan pelaksanaan review dan kaji studi pustaka terhadap buku-buku dan jurnal yang saling berkesinambungan dengan ilmu dibidang keteknik sipil khususnya di bagian pondasi tiang *bored pile*. *Problem* pada pondasi tiang *bored pile* serta desain dan pelaksanaan pemasangan pondasi tiang *bored pile*.

2. Tahap II

Peninjauan langsung ke penelitian proyek dan menentukan lokasi untuk memperoleh data yang tersedia.

3. Tahap III

Pengumpulan data berupa data primer dan data sekunder.

4. Tahap IV

Dilakukan perhitungan Analisa mengenai nilai hasil daya dukung pondasi tiang *bored pile* secara analitis sesuai dengan langkah langkah metode dan rumus yang telah *review* dan dikaji pada tinjauan pustaka dengan bagian data yang didapatkan dari hasil pengujian di lapangan dan di laboratorium

5. Tahap V

Penulis akan membandingkan data dari konsultan dan perhitungan analisa daya dukung pondasi tiang *bored pile* yang didapatkan dengan menggunakan metode analitis.

6. Tahap VI

Membuat kesimpulan dan saran, dengan hasil yang didapatkan dari proses perhitungan yang dilakukan sebelumnya.

Lokasi Penelitian

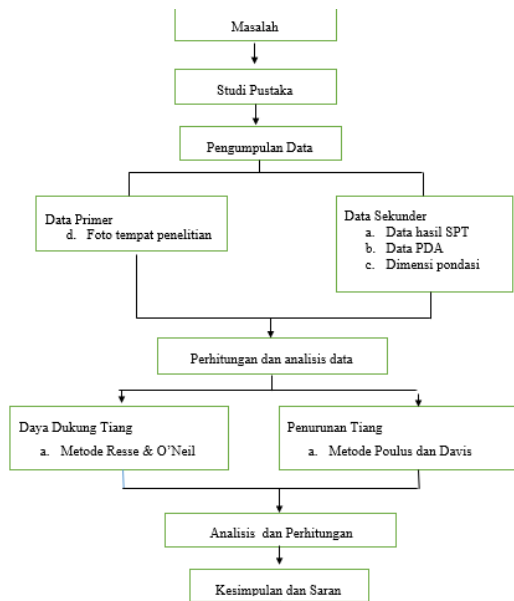
Fly over Martadinata (Pamulang) adalah *fly over* yang berpotongan tidak sebidang di Jalan Raya Pondok Cabe dan Jalan Dr. Setia Budi, berada di suatu wilayah Kota Tangerang Selatan.

Gambar 6. Denah Lokasi Proyek



Lokasi Penelitian

Bagan alur dari penelitian yang sedang dianalisa sebagai berikut



Gambar 7. Gambar alur penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Proyek

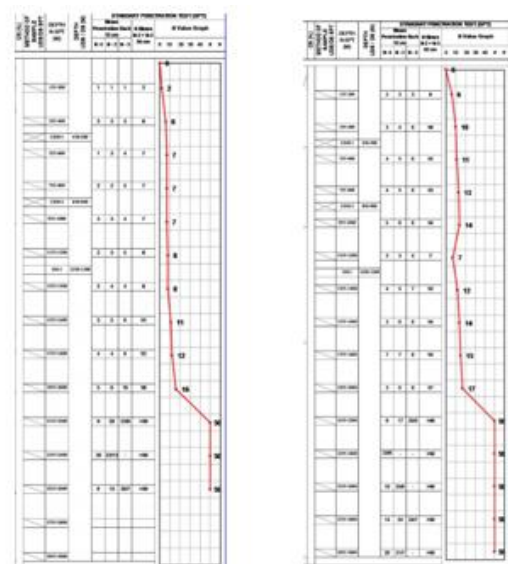
Data ini diperoleh dari pihak kontraktor dengan data sebagai berikut :

Nama Proyek	: Fly over Martadinata
Fungsi Bangunan	: Akses Jalan
Panjang Flyover	: 983,5 m
Waktu Kontrak	: 730 hari
Panjang Bored Pile	: 21 m
Diameter Bored Pile	: 1 m
Mutu Beton	: 30 mpa
Slump Test	: 12 ± 2
PDA Test 1	: 1050 ton
PDA Test 2	: 1280 tin
Mutu Beton dipakai	: $30.000 \text{ kN} / \text{m}^2$
Modulus Elastitas Beton	: $27.691.470 \text{ kN} / \text{m}^2$
Kecepatan Gelombang	: 3600 m/s
Luas Penampang Tiang	: $0,97418 \text{ m}^2$
Waktu (t1)	: 0
Gaya (F1)	: 580,4 kN
Kecepatan (V1)	: 0,5 s
Waktu (t2)	: 0

Gaya (F2) : 800,6kN

Kecepatan (V2) : - 0,0,15 s

Pada proyek *fly over* Martadinata, untuk data tanah diperoleh dari pihak Manajemen Konstruksi (PT.Likatama Graha Mandiri). Data tanah ini meliputi statifikasi tanah dan parameter tanah serta N-SPT. Data tanah ini nantinya akan dibutuhkan untuk kelanjutan tahap analisa daya dukung rencana pondasi tiang *bored pile* di proyek *fly over* martadinata. Penyelidikan tanah meliputi 4 titik bor dalam. Di lokasi rencana pembangunan *fly over* Martadinata, penyelidikan dilakukan pada rencana bangunan yang telah ditentukan oleh pihak perencana dan titik penyelidikan ditempatkan di daerah yang diperkirakan dapat mewakili kondisi tanah setempat.



Gambar 8. Data N-SPT titik BH-01 dan BH-02

a. Kondisi lapisan tanah titik BH-01 (STA 00+525R)

- Mulai dari permukaan tanah hingga kedalam sekitar 10 meter ditemukan berupa lapisan batuan lempung berpasiran dengan konsistensi lunak dan kadar air yang tinggi.
- Kemudian dari kedalaman 10 meter hingga 20 meter ditemukan lapisan lempung kelanauan dengan konsistensi kaku
- Pada kedalaman 20 meter hingga kedalaman sekitar 26 meter ditemukan lapisan sangat kaku berkanandung pasir dengan kepadatan yang tinggi di nilai N-SPT mencapai > 50

b. Kondisi lapisan tanah titik BH-02 (STA 00+500L)

- Mulai dari permukaan tanah hingga kedalam sekitar 10 meter ditemukan berupa lapisan batuan lempung berpasiran dengan konsistensi lunak dan kadar air yang tinggi.
- Kemudian dari kedalaman 10 meter hingga 17 meter ditemukan lapisan lempung kelanauan dengan konsistensi kaku
- Pada kedalaman 17 meter hingga kedalaman sekitar 26 meter ditemukan lapisan sangat kaku berkadung pasir dengan kepadatan yang tinggi di nilai N-SPT mencapai > 50

Pembahasan

1. Perhitungan Tanah Kohesif Titik BH-01 Pada Interval di Kedalaman 21 meter (O'Neil dan Resse)

Diameter Tiang	= 1 m
Panjang Tiang	= 21m
Mutu beton yang dipakai	= 30 mpa

➤ Luas Dasar Tiang

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 1^2$$

$$A_b = 0,785 \text{ m}^2$$

➤ Luas Selimut Tiang

$$A_s = \pi \cdot d$$

$$A_s = 3,14 \cdot 1$$

$$A_s = 3,14 \text{ m}^2$$

$$Nc' = 6 (1 + 0,2 \frac{L}{d_b}) \geq 9$$

$$Nc' = 6 (1 + 0,2 \frac{21}{1}) \geq 9$$

$$Nc' = 116,9 \geq 9, \text{ dipakai } Nc' = 9$$

$$f_b = Cu Nc' \leq 4000 \text{ kpa}$$

$$f_b = 96 \cdot 9 = 864 \leq 4000 \text{ kpa (Ok)}$$

➤ Tahanan Ujung Ultimit

$$Q_b = A_b \cdot f_b$$

$$Q_b = 0,785 \cdot 864 = 678,24 \text{ kN}$$

➤ Faktor adhesi pada interval kedalaman 21 meter :

$$Cu = 96$$

$$\alpha = 0,55 \text{ untuk } \frac{Cu}{Pr} < 1,5 (Pr = 100 \text{ kN/m}^2)$$

$$\alpha = \frac{96}{100} = 0,3893 < 1,5 \text{ maka digunakan } 0,55$$

$$\text{Diperoleh tahanan gesek } (f_s) :$$

$$f_s = \alpha \cdot Cu$$

$$f_s = 0,55 \cdot 96 = 52,80 \text{ kN / m}^2$$

➤ Tahanan gesek ultimit

$$Q_s = A_s \cdot f_s$$

$$Q_s = 40,32 \text{ m}^2 \cdot 52,80 \text{ kN / m}^2 = 2128,90 \text{ kN}$$

➤ Berat tiang bored pile

$$W_p = A_b \cdot L \cdot \gamma_{beton}$$

$$W_p = 0,785 \text{ m}^2 \cdot 21 \cdot 24 = 395,64 \text{ kN}$$

➤ Akibat adanya air tanah tiang bored pile akan mengalami gaya angkat

$$U = A_b \cdot \gamma_{air} \cdot (L - L_{air \text{ tanah}})$$

$$U = 0,785 \text{ m}^2 \cdot 9,81 (21 - 4) = 130,914 \text{ kN}$$

➤ Kapasitas dukung ultimit netto

$$Qu = Qb + Qs - Wp + U$$

$$Qu = 678,24 \text{ kN} + 2128,90 \text{ kN} - 395,64 \text{ kN} + 130,914 \text{ kN} = 2542,41 \text{ kN}$$

➤ Kapasitas dukung ijin

$$F = 2,5$$

$$Qa = \frac{Qu}{2,5} = \frac{2542,41}{2,5} = 1016,96 \text{ kN}$$

- $f_s = \alpha \cdot Cu$ (syarat Fs maksimum 260 kN/m^2)
 $\Delta f_s = 47,616 + 52,80 = 100,416 \text{ kN/m}^2 < 260 \text{ kN/m}^2$ (OK)

- Maka kapasitas daya dukung ijin pada tanah kohesif diperoleh

$$\Delta Qa = 997,68 \text{ kN} + 1016,96 \text{ kN} = 2014,64 : 2$$

$$Qa = 1007,32 \text{ kN}$$

2. Perhitungan Tanah Kohesif Titik BH-02 Pada Interval di Kedalaman 21 meter (O'Neil dan Resse)

$$Nc' = 6 (1 + 0,2 \frac{L}{d_b}) \geq 9$$

$$Nc' = 6 (1 + 0,2 \frac{21}{1}) \geq 9$$

$$Nc' = 37,2 \geq 9, \text{ dipakai } Nc' = 9$$

$$f_b = Cu Nc' \leq 4000 \text{ kpa}$$

$$f_b = 96 \cdot 9 = 864 \leq 4000 \text{ kpa (Ok)}$$

➤ Tahanan Ujung Ultimit

$$Q_b = A_b \cdot f_b$$

$$Q_b = 0,785 \cdot 864 = 678,24 \text{ kN}$$

➤ Faktor adhesi di interval kedalaman 21 meter :

$$Cu = 96$$

$$\alpha = 0,55 \text{ untuk } \frac{Cu}{Pr} < 1,5 (Pr = 100 \text{ kN/m}^2)$$

$$\alpha = \frac{96}{100} = 0,405 < 1,5 \text{ maka digunakan } 0,55$$

$$\text{Diperoleh tahanan gesek } (f_s) =$$

$$f_s = \alpha \cdot Cu$$

$$f_s = 0,55 \cdot 96 = 52,8 \text{ kN / m}^2$$

➤ Tahanan gesek ultimit

$$Q_s = A_s \cdot f_s$$

$$Q_s = 40,74 \cdot 52,8 \text{ kN / m}^2 = 2151,072 \text{ kN}$$

➤ Berat tiang bored pile

$$W_p = A_b \cdot L \cdot \gamma_{beton}$$

$$W_p = 0,785 \cdot 21 \cdot 24 = 395,640 \text{ kN}$$

➤ Akibat adanya air tanah tiang bored pile akan mengalami gaya angkat

$$U = A_b \cdot \gamma_{air} \cdot (L - L_{air \text{ tanah}})$$

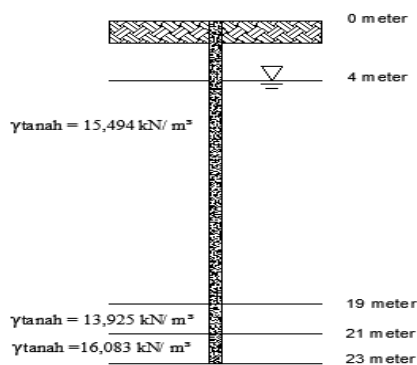
$$U = 0,785 \cdot 9,81 (21 - 4) = 130,914 \text{ kN}$$

- Kapasitas dukung ultimit netto
 $Q_u = Q_b + Q_s - W_p + U$
 $Q_u = 678,24 \text{ kN} + 2151,072 \text{ kN} - 395,640 \text{ kN} + 130,914 \text{ kN}$
 $Q_u = 2564,586 \text{ kN}$
- Kapasitas dukung ijin
 $F = 2,5$
 $Q_a = \frac{Q_u}{2,5} = \frac{2564,586}{2,5} = 1025,835 \text{ kN}$
- $f_s = \alpha \cdot C_u$ (syarat F_s maksimum 260 kN/m^2)
 $\Delta f_s = 48,40 + 52,8 = 72,97 \text{ kN/m}^2 < 260 \text{ kN/m}^2$ (OK) Maka kapasitas daya dukung ijin pada tanah kohesif diperoleh

3. Perhitungan Tanah Non-Kohesif Titik BH-01 Pada Interval di Kedalaman 15,5 meter (O'Neil dan Resse)

Menghitung kapasitas daya dukung pondasi *bored pile* dari data SPT menggunakan metode O'Neil dan Resse :

Diameter tiang	= $\emptyset 1 \text{ m}$
Panjang tiang	= 21 m
Luas dasar tiang	= $0,785$
Luas selimut tiang	= $1,88 \text{ m}$



Gambar 9. Kondisi lapisan tanah BH-01

- $f_b = 0,6 \sigma N_{60} < 4500 \text{ kN/m}^2$
 $f_b = 0,6 \cdot 100 \cdot 7 = 660 \text{ kN/m}^2 < 4500 \text{ kN/m}^2$
- Tahanan Ujung Ultimit
 $Q_b = A_b \cdot f_b$
 $Q_b = 0,785 \cdot 660 = 518,1 \text{ kN}$
- Berat jenis tanah pada interval kedalaman 5,5 meter :
 $A_s = 21 \text{ m}^2$
 $\gamma_{tanah} = 15,691 \text{ kN/m}^2$
- Tekanan efektif pada tiang *bored pile*
 $P_o = A_s \cdot \gamma_{tanah}$
 $P_o = 21 \cdot 15,691 = 235,365 \text{ kN/m}^2$

- Interval kedalaman 15 meter, N-SPT : $11 < 15$, maka β dapat dihitung :
 $\beta = \frac{N_{60}}{15} (1,50 - 0,245 \sqrt{Z})$ dengan $0,25 < \beta < 1,20$
 $\beta = \frac{11}{15} (1,50 - 0,245 \sqrt{15}) = 0,404$
- Tahanan gesek
 $f_s = P_o \cdot \beta$
 $f_s = 0,404 \cdot 235,465 = 95,124 \text{ kN/m}^2$
- Tahanan gesek ultimit
 $Q_s = A_s \cdot f_s$
 $Q_s = 95,124 \cdot 21 = 1997,598 \text{ kN}$
- Kapasitas dukung ultimit netto
 $Q_u = Q_b + Q_s - W_p + U$
 $Q_u = 518,1 + 1997,598 - 282,6 + 84,709 = 2317,807 \text{ kN}$
- Kapasitas dukung ijin
 $F = 2,5$
 $Q_a = \frac{Q_u}{2,5} = \frac{2317,807}{2,5} = 1133,143 \text{ kN}$

Maka kapasitas daya dukung ijin pada tanah Non-kohesif dengan metode O'Neil dan Resse yang diperoleh

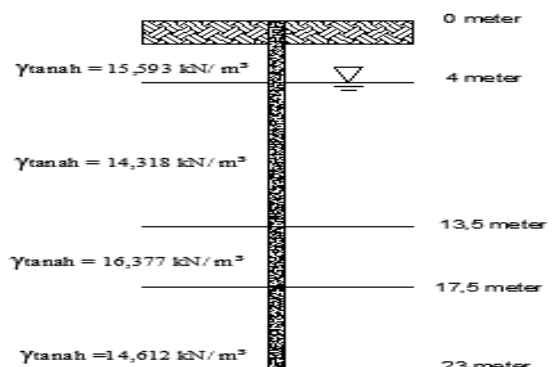
$$\Delta Q_a = 124,157 + 193,668 + 257,375 + 330,368 + 474,311 + 648,74 + 927,123 + 1133,143 + 1501,898 + 5146,297 = 10737,38 \text{ kN}$$

$$Q_a = 10737,38 : 10 = 1073,738 \text{ kN}$$

4. Perhitungan Tanah Non-Kohesif Titik BH-01 Pada Interval di Kedalaman 15,5 meter (O'Neil dan Resse)

Menghitung kapasitas daya dukung pondasi *bored pile* dari data SPT menggunakan metode O'Neil dan Resse :

Diameter tiang	: 1 m
Panjang tiang	: 21 m
Luas dasar tiang	: $0,785 \text{ m}$
Luas selimut tiang	: $1,88 \text{ m}$



Gambar 10. Kondisi lapisan tanah BH-02

$$f_b = 0,60 \sigma N60 < 4500 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$f_b = 0,60 \cdot 100 \cdot 14 = 840 \text{ kN} / \text{m}^2$$

➤ Tahanan Ujung Ultimit

$$Q_b = A_b \cdot f_b$$

$$Q_b = 0,785 \cdot 8440 = 659,4 \text{ kN}$$

➤ Berat jenis tanah pada interval kedalaman 15 meter :

$$A_s = 20,15 \text{ m}^2$$

$$\gamma_{tanah} = 13,729 \text{ kN} / \text{m}^2$$

➤ Tekanan efektif pada tiang *bored pile*

$$P_o = A_s \cdot \gamma_{tanah}$$

$$P_o = 20,15 \cdot 13,729 = 212,804 \text{ kN} / \text{m}^2$$

➤ Interval kedalaman 5 meter, N-SPT : $14 < 15$, maka β dapat dihitung :

$$\beta = \frac{N_{60}}{15} (1,50 - 0,245 \sqrt{Z}) \text{ dengan } 0,25 < \beta < 1,20$$

$$\beta = \frac{14}{15} (1,50 - 0,245 \sqrt{15}) = 0,500$$

➤ Tahanan gesek

$$f_s = P_o \cdot \beta$$

$$f_s = 212,804 \cdot 0,500 = 106,346 \text{ kN} / \text{m}^2$$

➤ Tahanan gesek ultimit

$$Q_s = A_s \cdot f_s$$

$$Q_s = 20,15 \cdot 106,346 = 2142,879 \text{ kN}$$

➤ Kapasitas dukung ultimit netto

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p + U$$

$$Q_u = 659,4 + 2142,879 - 292,02 + 88,56 = 2598,818 \text{ kN}$$

➤ Kapasitas dukung ijin

$$F = 2,5$$

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} = \frac{2598,818}{2,5} = 1039,527 \text{ kN}$$

Maka kapasitas daya dukung ijin pada tanah Non-kohefif dengan metode O'Neil dan Resse yang diperoleh

$$\Delta Q_a = 224,925 + 316,974 + 487,718 + 657,039 + 363,159 + 777,952 + 1231$$

$$+ 1039,527 + 1590,146 = 11961,80$$

$$Q_a = 11961,80 : 10 = 1196,180 \text{ kN}$$

5. Perhitungan Penurunan Tanah Tunggal Titik BH-01 (Poulos dan Davis)

$$\mu = 0,3$$

$$E_{lempung} = 22,117 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_{pasir} = 77,047 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_c = 30 \text{ mpa}$$

$$E_{beton} = 282375,42 \text{ Kg/cm}^2$$

Maka K didapat :

$$K = \frac{E_{beton}}{E_{lempung}}$$

$$K = \frac{2882375,415}{447,018} = 631,686$$

➤ Untuk rasio poisson bahan tiang beton $\mu = 0,3$ dapat diperoleh

$$I_o = 0,085 \text{ (Untuk } L/d = 21 ; db/d = 1 \text{)}$$

$$R_k = 1,42 \text{ (Untuk } L/d = 21 ; K = 631,686 \text{ Kg/cm}^2 \text{)}$$

$$R_h = 0,153 \text{ (Untuk } L/d = 21 ; h/L = 1 \text{)}$$

$$R_\mu = 0,938 \text{ (Untuk } L/d = 21 ; \mu = 0,3 \text{)}$$

$$R_b = 0,97 \text{ (Untuk } L/d = 21 ; E_b/E_s = 2.841 \text{)}$$

➤ Pondasi tiang *bored pile* dalam kondisi terapung dalam pasir :

$$I = I_o + R_k + R_h + R_\mu$$

$$I = 0,085 + 1,42 + 0,153 + 0,938 = 0,017$$

➤ Penurunan pondasi tiang *bored pile* dalam kondisi bertumpu pada tanah berpasir :

$$S = \frac{Q \cdot I}{E_s \cdot d} = \frac{1280 \cdot 0,017}{27,117 \cdot 100} = 0,00818 \text{ cm}^2 = 0,818 \text{ mm}^2$$

➤ Pondasi tiang *bored pile* dalam kondisi bertumpu pada tanah berpasir

$$I = I_o + R_k + R_h + R_\mu + R_b$$

$$I = 0,085 + 1,42 + 0,938 + 0,97 = 0,11$$

➤ Penurunan pondasi tiang *bored pile* dalam kondisi bertumpu pada tanah berpasir dengan beban (PDA Test)

$$S = \frac{Q \cdot I}{E_s \cdot d} = \frac{1280 \cdot 0,11}{27,117 \cdot 100} = 5,184 \text{ mm}^2$$

6. Perhitungan Penurunan Tanah Tunggal Titik BH-02 (Poulos dan Davis)

$$\mu = 0,3$$

$$E_{lempung} = 41,027 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_{pasir} = 19,567 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_c = 30 \text{ mpa}$$

$$E_{beton} = 282375,415 \text{ Kg/cm}^2$$

Maka K didapat :

$$K = \frac{E_{beton}}{E_{lempung}}$$

$$K = \frac{2882375,415}{322,557} = 875,429$$

- Untuk rasio poisson bahan tiang beton $\mu = 0,3$ dapat diperoleh

$$I_o = 0,085$$

(Untuk $L/d = 21$; $db/d = 1$)

$$R_k = 1,23$$

(Untuk $L/d = 21$; $K = 875,429 \text{ Kg/cm}^2$)

$$R_h = 0,153$$

(Untuk $L/d = 21$; $h/L = 1$)

$$R_\mu = 0,938$$

(Untuk $L/d = 21$; $\mu = 0,3$)

$$R_b = 0,98$$

(Untuk $L/d = 21$; $E_b/E_s = 2.841$)

- Pondasi tiang *bored pile* dalam kondisi terapung dalam pasir :

$$I = I_o + R_k + R_h + R_\mu$$

$$I = 0,085 + 1,23 + 0,153 + 0,938 = 0,015$$

- Penurunan pondasi tiang *bored pile* dalam kondisi bertumpu pada tanah berpasir :

$$S = \frac{Q \cdot I}{E_s \cdot d} = \frac{1280 \cdot 0,015}{27,117 \cdot 100} = 0,00981 \text{ cm}^2 = 0,981 \text{ mm}^2$$

- Pondasi tiang *bored pile* dalam kondisi bertumpu pada tanah berpasir

$$I = I_o + R_k + R_h + R_\mu + R_b$$

$$I = 0,085 + 1,23 + 0,938 + 0,98 = 0,096$$

- Penurunan pondasi tiang *bored pile* dalam kondisi bertumpu pada tanah berpasir dengan beban (PDA Test)

$$S = \frac{Q \cdot I}{E_s \cdot d} = \frac{1280 \cdot 0,096}{27,117 \cdot 100} = 6,287 \text{ mm}^2$$

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan pada proyek pembangunan fly over Martadinata sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan kapasitas daya dukung pondasi tiang bored pile dengan metode analitis (Resse dan O'Neil) pada tanah kohesif didapatkan nilai sebesar 1010,56 kN. Untuk hasil perhitungan daya

dukung pondasi tiang bored pile dengan metode analitis (Resse dan O'Neil) pada tanah non-kohesif didapatkan nilai sebesar 1134,96 kN dengan pembagi faktor aman (SF=2,5)

2. Hasil penurunan pondasi tiang bored pile dengan metode analitis (Poulos dan Davis) pada tanah non-kohesif dengan nilai PDA test sebesar 1040 Ton didapatkan sebesar 5,09 mm sedangkan nilai tekanan dari PDA test = 1280 Ton didapatkan nilai penurunan sebesar 6,23mm dimana syarat untuk memenuhi penurunan pondasi $S \leq S$ ijin, dengan demikian perhitungan penurunan pondasi sudah memenuhi syarat.

Dari data di atas dapat diambil kesimpulan bahwa hasil perhitungan daya dukung fondasi tiang bored piled, dan penurunan fondasi tiang bored piled terdapat perbedaan Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan jenis tanah, kedalaman yang ditinjau dan perbedaan parameter yang digunakan dalam perhitungan.

Saran

1. Data teknis yang lengkap sangat diperlukan karena data tersebut sangat menunjang dalam membuat rencana analisa perhitungan sesuai dengan standar dan syarat-syaratnya.
2. Dalam mendesain fondasi tiang *bored pile*, parameter tanah sangat penting untuk diketahui. Jenis dan kondisi pembebanan akan sangat berpengaruh pula pada penentuan parameter, oleh sebab itu data-data mengenai karakteristik tanah yang valid sangat diperlukan.
3. Untuk mendapatkan hasil perhitungan kapasitas daya dukung yang baik di perlukan ketelitian dalam menginput data teknis yang digunakan dalam perencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z., 2008, Analisa Perbandingan Biaya Pelaksanaan Pondasi Tiang Pancang dan Tiang Bor Pile Jembatan Suramadu, Neutron, Volume 08, No.2.

- Bowles, J. E., 1984. Foundation Analysis and Design. Terjemahan oleh Pantur Silaban. Jilid III, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Catur Hezron (2015) Perbandingan Daya Dukung sesuai *Pile Driving Analyzer* (PDA), *Cone Penetration Test* (CPT), *Standard Penetration Test* (SPT) dengan Metode Alpha
- Dian Fiantis (2017) Morfologi dan Klasifikasi Tanah, Penerbit Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi Universitas Andalas.
- Faisal Syaifullah (2008) Analisa Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi *Bored Pile* Pada Proyek Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi.
- Hardiyatmo, H. C. 2002, Teknik Pondasi 1, Edisi Kedua, Beta Offset, Perum FT, UGM, No.3, Seturan YK, Indonesia.
- Hardiyatmo, H. C. 2002, Mekanika Tanah 1, Edisi Ketiga, Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- Hardiyatmo, H. C. 2008, Mekanika Tanah 2, Edisi Keempat, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. 2010, Analisis dan Perancangan Pondasi, Bagian II, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, Indonesia.
- H.S., Sardjono, 1991, Pondasi Tiang Pancang Jilid 2, Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya.
- H.S., Sardjono, 1988, Pondasi Tiang Pancang Jilid 1, Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya
- H.S., Sardjono, 1991, Pondasi Tiang Pancang Jilid 2, Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya.
- Hasibolan, I. T. , Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Kelompok pada Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fak. Mipa Universitas Negeri Medan, Indonesia
- Marpaung, D. A., Analisis Daya Dukung Sistem Pondasi Kelompok Tiang Tekan Hidrolis, Studi Kasus pada Proyek Pembangunan ITC Polonia Medan, Indonesia
- Muchtar, A., 2006, Re - Desain Struktur Pondasi Tiang Pancang pada Stadion Wilis Madiun, Neutron, Vol.6, No.2.
- Nawy, E. G., 2008, Betong Bertulang, Cetakan Ketiga,
- Muhammad Siftiyadin Farid (2019) Analisis Daya Dukung Pondasi Sumuran Dan Perencanaan Ulang Menggunakan Pondasi Tiang Bor.
- Putra, H. G., 2008, Pertimbangan Dalam Pemilihan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang dengan Beberapa Metoda, Volume 4, No.2.
- Refika Aditama, Bandung, Indonesia. Nugroho, A., 2009, Perancangan Aplikasi Rencana Anggaran dan Biaya, Jurnal Informatika, Vol.10, No.1.
- Sinar, J. S., 2011, Analisis Kapasitas Dukung Tiang Bor pada Proyek Medan Focal Point (Studi Kasus), Meda, Indonesia.
- Siregar, C. S. 2013, Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang secara Analitis pada Proyek GBI Bethel Medan.
- Ulfa Jusi (2015) Analisa Kuat Dukung Pondasi *Bore Pile* Berdasarkan Data Pengujian Lapangan (Cone Dan N-SPT)