



Analisis Fondasi Tiang Bor Pada Gedung Data Center Di Kawasan OIKN

Chelsea V. Nuah^{#a}, Agnes T. Mandagi^{#b}, Alva N. Sarajar^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^achelseanuah021@student.unsrat.ac.id, ^bagnes.mandagi@unsrat.ac.id, ^calva.sarajar@unsrat.ac.id

Abstrak

Kawasan Otorita Ibu Kota Nusantara (OIKN) di Kalimantan Timur didominasi oleh tanah lempung kelanauan (*silty clay*) berplastisitas tinggi dengan daya dukung rendah dan potensi penurunan konsolidasi yang signifikan. Kondisi ini menuntut perencanaan fondasi dalam yang cermat, khususnya untuk bangunan dengan beban berat seperti gedung *data center*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas dukung tiang bor tunggal maupun kelompok, menganalisis penurunan (*settlement*) yang terjadi, dan mengevaluasi kelayakan desain fondasi berdasarkan SNI 8460:2017. Analisis dilakukan pada tiga variasi diameter tiang bor, yaitu $D = 0,6$ m; $D = 0,8$ m; dan $D = 1,0$ m, dengan kedalaman tertanam $L = 20$ m. Kapasitas dukung aksial dihitung menggunakan metode *Meyerhoff* untuk tahanan ujung dan metode *Kulhawy* (1984) untuk tahanan selimut, dengan faktor keamanan $SF = 2,5$. Analisis penurunan dilakukan melalui perhitungan konsolidasi primer (S_c) secara analitis dan diverifikasi menggunakan pemodelan numerik PLAXIS 2D dengan model Mohr-Coulomb. Kapasitas dukung ultimit tiang tunggal yang diperoleh adalah $Q_u = 3.520,89$ kN ($D = 0,6$ m), $Q_u = 4.945,85$ kN ($D = 0,8$ m), dan $Q_u = 6.496,47$ kN ($D = 1,0$ m), dengan kapasitas izin masing-masing $Q_{all} = 1.408,36$ kN; $1.978,34$ kN; dan $2.598,59$ kN. Pada konfigurasi 4 tiang kelompok diperoleh kapasitas izin $Q_{ga} = 4.268,80$ kN; $5.996,45$ kN; dan $7.876,45$ kN untuk ketiga diameter tersebut. Seluruh diameter memenuhi syarat faktor keamanan $SF \geq 2,5$ terhadap beban desain berdasarkan pendekatan analitis. Nilai penurunan pada seluruh variasi diameter, baik tiang tunggal maupun kelompok, berada di bawah batas izin 25 mm. Evaluasi lebih lanjut menunjukkan bahwa faktor keamanan berdasarkan kapasitas ultimit hasil PLAXIS 2D diameter $D = 1,0$ m dengan kedalaman $L = 20$ m merupakan pilihan dengan kapasitas dukung terbesar untuk melayani beban desain terbesar sebesar 2.600 kN pada gedung *data center* di kawasan OIKN, dengan catatan perlunya verifikasi tambahan terhadap hasil pemodelan numerik.

Kata kunci: *bored pile, tiang bor, tiang kelompok, OIKN, kapasitas dukung, penurunan konsolidasi, Kulhawy, PLAXIS 2D*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Kalimantan Timur merupakan salah satu proyek strategis nasional yang membutuhkan pengembangan berbagai infrastruktur pendukung, termasuk fasilitas digital seperti gedung data center. Oleh karena itu, perencanaan fondasi menjadi aspek penting untuk menjamin stabilitas, keamanan, dan keandalan struktur selama masa layanan bangunan. Kondisi geoteknik pada kawasan Otorita Ibu Kota Nusantara (OIKN) menjadi salah satu faktor utama yang perlu diperhatikan dalam desain fondasi. Berdasarkan karakteristik tanah setempat, lapisan tanah didominasi oleh tanah lempung kelanauan (*silty clay*) dengan plastisitas tinggi, daya dukung relatif rendah, permeabilitas rendah, serta potensi perubahan volume akibat proses konsolidasi. Karakteristik tersebut dapat menyebabkan permasalahan penurunan (*settlement*) apabila beban struktur yang besar tidak didukung oleh sistem fondasi yang sesuai.

Pada bangunan dengan beban berat seperti gedung data center, penggunaan fondasi dangkal umumnya tidak memadai sehingga diperlukan fondasi dalam yang mampu mentransfer beban menuju lapisan tanah yang lebih stabil. Salah satu alternatif yang banyak diterapkan adalah

fondasi tiang bor (*bored pile*) karena memiliki kemampuan menahan beban aksial melalui kombinasi tahanan ujung (*end bearing*) dan tahanan gesek selimut (*skin friction*), serta memberikan keuntungan berupa tingkat getaran dan kebisingan konstruksi yang lebih rendah dibandingkan tiang pancang.

Penentuan kapasitas daya dukung fondasi tiang bor sangat bergantung pada karakteristik tanah dan metode analisis yang digunakan. Data penyelidikan tanah melalui pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) dapat digunakan untuk memperoleh parameter geoteknik dan memperkirakan kapasitas dukung tiang menggunakan pendekatan empiris. Dalam penelitian ini, metode Meyerhof digunakan untuk memperkirakan tahanan ujung tiang, sedangkan metode Kulhawy (1984) digunakan untuk menghitung tahanan selimut pada tanah lempung. Selain kapasitas daya dukung, aspek penurunan fondasi menjadi parameter penting dalam evaluasi kelayakan desain. Variasi diameter tiang bor sebesar 0,6 m, 0,8 m, dan 1,0 m dengan kedalaman 20 m dianalisis untuk memperoleh konfigurasi fondasi yang memenuhi persyaratan keamanan dan mampu mendukung beban desain struktur secara optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka penulis dapat mengambil rumusan masalah yaitu :

1. Bagaimana kondisi karakteristik tanah di lokasi pembangunan gedung data center di kawasan OIKN berdasarkan hasil penyelidikan tanah (*soil investigation*)?
2. Bagaimana menentukan kapasitas dukung tiang bor pada kondisi tanah tersebut?
3. Bagaimana hasil analisis penurunan (*settlement*) yang terjadi pada fondasi tiang bor akibat beban gedung data center?

1.3 Batasan Masalah

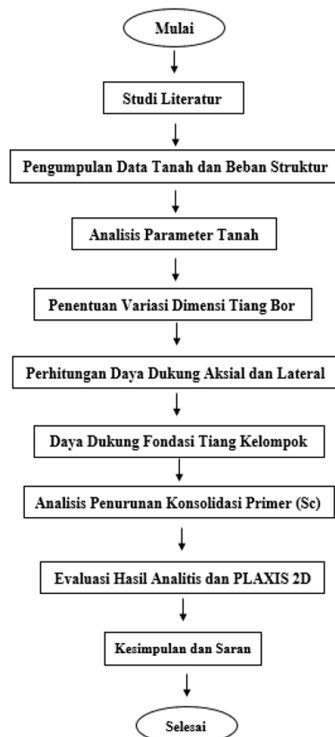
1. Analisis karakteristik tanah didasarkan pada data N-SPT yang diperoleh dari lapangan.
2. Jenis fondasi yang dianalisis adalah fondasi tiang bor (*Bored Pile*) dengan tiga variasi diameter, yaitu $D = 0,6$ m; $D = 0,8$ m; dan $D = 1,0$ m, pada kedalaman tertanam tiang $L = 20$ m.
3. Perhitungan kapasitas dukung aksial tiang bor tunggal menggunakan metode Kulhawy (1984) dan Meyerhoff dengan faktor keamanan $SF = 2,5$.
4. Analisis penurunan (*settlement*) hanya mencakup penurunan konsolidasi primer (S_c) sebagai representasi penurunan total fondasi.
5. Analisis tidak mencakup perencanaan struktural tiang bor seperti penulangan, sambungan tiang.
6. Pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS sebagai analisis tambahan untuk memverifikasi hasil perhitungan analitis.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menentukan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan data hasil penyelidikan tanah
2. Menghitung penurunan (*settlement*) yang terjadi pada fondasi tiang bor akibat beban struktur gedung data center.
3. Mengevaluasi kelayakan fondasi terhadap kapasitas dukunh dan penurunan berdasarkan SNI.

2. Tahap Penelitian

Tahap penelitian digambarkan dalam alur yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3. Kajian Literatur

3.1 Data Tanah (*Standard Penetration Test*)

Standard Penetration Test (SPT) pada setiap titik bor yang tersebar di lokasi proyek, dengan interval pengujian yang umumnya dilakukan setiap 1,5 hingga 2,0 meter kedalaman. Berdasarkan data yang diperoleh, profil lapisan tanah di kawasan OIKN terdiri dari tiga lapisan yaitu, lapisan Lempung kelanauan (*Silt Clay*) berwarna kecoklatan pada kedalaman 0-4 m dengan nilai $N-SPT = 7-14$ (*loose-medium*), dan lapisan Batu lempung (*claystone*) berwarna abu-abu pada kedalaman 4-30 m dengan nilai $N-SPT = 60$ (*very dense*). Pengujian SPT di lokasi penelitian menggunakan alat bor putar (*rotary drilling*) dengan sistem pemukulan *donut hammer* yang dioperasikan dengan sistem tali dan katrol (*rope and pulley*) — *China type*, sehingga faktor koreksi energi (C_e) yang digunakan adalah 0,8333, setara dengan efisiensi 83,33% dari energi teoritis alat SPT standar.

3.2 Fondasi

Fondasi merupakan elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban bangunan ke tanah pendukung. Fondasi dalam digunakan ketika lapisan tanah keras berada pada kedalaman tertentu atau ketika tanah permukaan memiliki daya dukung rendah dan kompresibilitas tinggi (Hardiyatmo, 2002). Sistem ini bekerja dengan mentransfer beban melalui tahanan ujung (*end bearing*) maupun tahanan gesek sepanjang selimut fondasi (*skin friction*), bergantung pada kondisi lapisan tanah yang tersedia. Dalam perencanaan geoteknik, fondasi tidak hanya harus memenuhi kapasitas dukung, tetapi juga harus mampu mengendalikan penurunan total dan diferensial. Berdasarkan SNI 8460:2017, desain fondasi harus memenuhi aspek keamanan terhadap kekuatan dan deformasi. Oleh karena itu, analisis fondasi dalam pada tanah lempung perlu mempertimbangkan karakteristik tanah, seperti plastisitas, kuat geser, kadar air, serta potensi penurunan konsolidasi.

3.3 Fondasi Bored Pile

Fondasi tiang bor (*bored pile*) merupakan salah satu jenis fondasi dalam yang dibuat melalui proses pengeboran tanah hingga kedalaman tertentu, kemudian dipasang tulangan dan

dilakukan pengecoran beton sesuai kebutuhan desain. Sistem ini mampu mentransfer beban struktur melalui kombinasi tahanan ujung (*end bearing*) dan tahanan gesek selimut (*skin friction*). Penggunaan *bored pile* memiliki beberapa keunggulan, antara lain dapat diterapkan pada berbagai kondisi tanah, menghasilkan getaran dan kebisingan yang lebih rendah dibandingkan tiang pancang, serta memungkinkan pengawasan langsung terhadap kondisi tanah pada dasar fondasi. Selain itu, penggunaan *casing* dapat membantu menjaga kestabilan lubang bor dari risiko keruntuhan (*caving*) dan deformasi lateral tanah. Fondasi tiang bor juga memiliki kemampuan daya dukung lateral yang baik serta dapat dikembangkan dengan pelebaran ujung tiang untuk meningkatkan kapasitas tahanan ujung terhadap beban yang bekerja.

3.4 Daya Dukung Fondasi Bored Pile

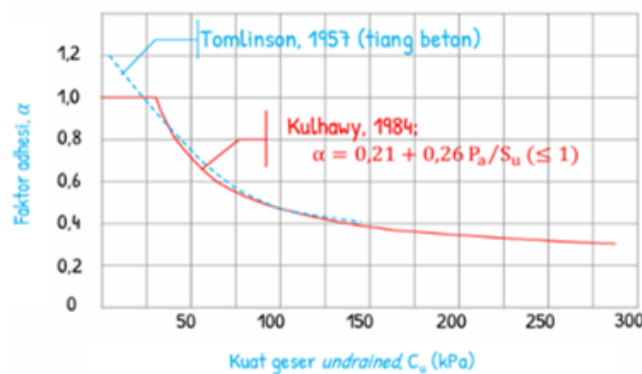
Daya dukung ijin tiang pada metode *Meyerhoff (1976)* dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

Tahanan ujung ultimit tiang Q_p dihitung sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times 9C_u \quad (1)$$

Tahanan gesek selimut (Q_s) dihitung menggunakan metode *Kulhawy (1984)* sebagai berikut :

$$Q_s = \sum(\alpha \times C_u \times A_s) \quad (2)$$



Gambar 2. Faktor Adhesi Metode Kulhawy (1984)

Kapasitas daya dukung ultimit tiang (Q_u) adalah jumlah dari tahanan ujung tiang (Q_p) dan tahanan gesek dinding atau selimut tiang (Q_s) antara sisi tiang dan tanah disekitarnya dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (3)$$

Dimana:

A_s = luas selimut tiang per lapisan

α = faktor adhesi ($0,0 < \alpha \leq 1,0$)

C_u = Undrained Cohesion

Q_u = Daya dukung ultimit (kN)

Q_p = Tahanan ujung (kN)

Q_s = Tahanan selimut (kN)

Daya dukung ijin tiang :

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (4)$$

Dimana :

Q_{all} = Daya dukung ijin tiang (kN)

SF = Faktor keamanan

3.5 Daya Dukung Fondasi Tiang Kelompok

Nilai kapasitas dukung ultimit tiang kelompok memperhatikan faktor efisiensi tiang,

dinyatakan dalam persamaan :

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u \quad (5)$$

Persamaan efisiensi kelompok tiang metode *Converse-labrare* :

$$E_g = 1 - \frac{(m-1) \times n + (n-1) \times m}{90 \times m \times n} \times \theta \quad (6)$$

Persamaan daya dukung ijin tiang kelompok menggunakan rumus :

$$Q_{ga} = \frac{Q_g}{F} \quad (7)$$

Dimana :

Q_g = Daya dukung tiang kelompok

E_g = Efisiensi kelompok tiang

Q_u = Daya dukung ultimit tiang tunggal

m = Jumlah tiang pada deret baris

n = Jumlah tiang pada deret kolom

D = Diameter penampang tiang

d = Diameter tiang (m)

s = Jarak pusat ke pusat tiang (m)

Q_{ga} = Daya dukung ijin kelompok tiang

3.6 Penurunan Fondasi

Pada saat tiang dibebani, tiang akan mengalami pemendekan dan tanah disekitarnya akan mengalami penurunan. Penurunan fondasi tiang bor diwakili oleh penurunan konsolidasi primer (S_c), mengingat lapisan tanah di lokasi proyek didominasi oleh lempung kelanauan jenuh air dengan permeabilitas rendah.

1. Penurunan Elastis Tiang Tunggal

Untuk penurunan elastis fondasi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$S_c = m_v \times \Delta\sigma \times H \quad (8)$$

Dimana :

S_c = Penurunan total fondasi tiang

$\Delta\sigma$ = Penurunan elastis fondasi

H = Penurunan akibat beban pada ujung tiang

m_v = Modulus elastisitas material tiang

Perhitungan tambahan tegangan vertikal dapat diperoleh sebagai berikut :

$$\Delta\sigma = \frac{Q}{(B+z)(L+z)} \quad (9)$$

Dimana :

Q = Beban yang bekerja (kN)

D = Diameter tiang bor (m)

z = Kedalaman titik tinjauan perhitungan (m)

2. Penurunan Tiang Kelompok

Perhitungan penurunan tiang kelompok menggunakan persamaan *Vesic* (1977) yakni :

$$S_g = S_e \times \sqrt{\frac{Bg}{D}} \quad (10)$$

Dimana :

Bg = Lebar kelompok tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

S = Penurunan elastis tiang (m)

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Perhitungan

Data yang digunakan dalam perhitungan analisis daya dukung *bored pile* pada

Pembangunan Gedung Data Center OIKN adalah sebagai berikut :

1. Diameter fondasi *bored pile* (d) = 60 cm, 80 cm, 100 cm
2. Jarak tiang fondasi = 210 cm, 280 cm, 350 cm
3. Kedalaman = 2000 cm = 20 m
4. Mutu material beton = $f_c' 30$
5. Jumlah tiang pada deret kolom = 2
6. Jumlah tiang pada deret baris = 2

4.2 Analisis Daya Dukung Fondasi Bored Pile

Analisis tahanan ujung fondasi menggunakan Metode *Meyerhoff* dan tahanan selimut menggunakan metode *Kulhawy*. Tabel 1 adalah hasil perhitungan daya dukung aksial dengan menggunakan persamaan 1 sd. 4.

Tabel 1. Rekapitulasi Daya Dukung Fondasi pada 3 Variasi Diameter

D (m)	Q_p (kN)	Q_s (kN)	Q_u (kN)	Q_{all} (kN)
0,60	565,49	2.955,41	3.520,89	1.408,36
0,80	1.005,31	3.940,54	4.945,85	1.978,34
1,00	1.570,80	4.925,68	6.496,47	2.598,59

4.3 Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Kelompok

Analisis daya dukung fondasi tiang kelompok dengan menggunakan rumus persamaan 5 sd. 7.

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Kelompok (4 tiang) pada Variasi Diameter

Diameter	Q_u (ton)	Q_g (ton)	Q_{ga} (ton)
0,6	3.520,89	10.672	4.268,8
0,8	4.945,85	14.991,1	5.996,45
1,0	6.496,47	19.691,1	7.876,45

4.4 Penurunan Fondasi

4.4.1. Penurunan Elastis Tiang Tunggal

Tabel 3. dan tabel 4. adalah hasil perhitungan penurunan tiang tunggal (persamaan 8 dan 9), dimana nilai daya dukung Q_p dan Q_s dikonversi dari ton ke kN.

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal pada Beban Desain 1400 kN

Diameter	$\Delta\sigma$ (kPa)	S_c (m)
0,6	7,211	0,184774
0,8	7,008	0,179582
1,0	6,814	0,174605

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal pada Beban Desain 2600 kN

Diameter	$\Delta\sigma$ (kPa)	S_c (m)
0,6	13,392	0,000343
0,8	13,016	0,000334
1,0	12,655	0,000324

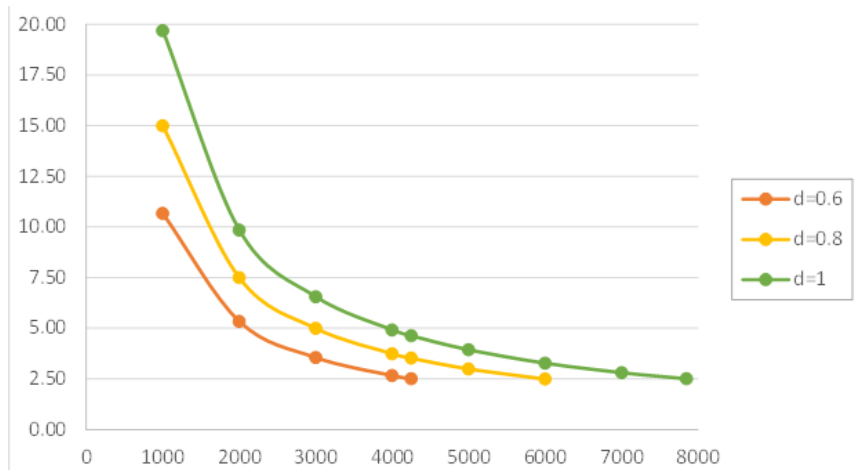
4.4.2. Penurunan Tiang Kelompok

Tabel 5 adalah hasil penurunan elastis pada fondasi tiang kelompok menggunakan metode

Vesic (1977) menggunakan persamaan 10.

Tabel 5. Penurunan Fondasi Tiang Kelompok

Diameter	S_e (m)	S_g (m)
0,6	2,9044	5,43
0,8	2,8440	5,32
1,0	2,7856	5,21



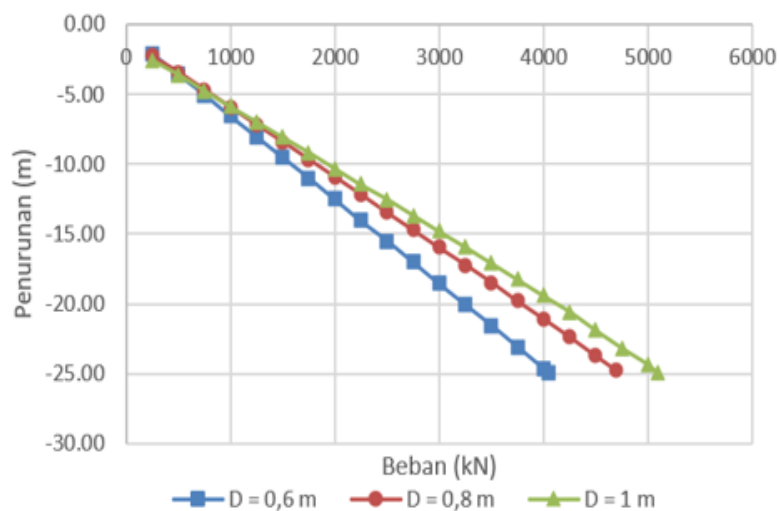
Gambar 3. Hubungan Beban Desain terhadap Faktor Keamanan Fondasi Tiang Kelompok

4.4.3. Penurunan Fondasi Tiang Kelompok menggunakan PLAXIS 2D

Tabel 6. adalah hasil analisis penurunan pada fondasi tiang kelompok yang menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D.

Tabel 6. Penurunan Fondasi Tiang Kelompok menggunakan PLAXIS 2D

Diameter	Beban (kN)	Penurunan (m)
0,6	4.050	24,92
0,8	4.700	24,76
1,0	5.100	24,95



Gambar 4. Penurunan Fondasi Tiang Kelompok berdasarkan Hasil PLAXIS 2D

4.5 Evaluasi Hasil Desain

Evaluasi ini dilaksanakan berdasarkan ketentuan SNI 8460:2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik, yang menetapkan dua aspek utama yaitu persyaratan kekuatan dan persyaratan penurunan.

Tabel 7. Evaluasi Kapasitas Dukung Aksial dan Faktor Keamanan terhadap Beban Desain

D (m)	Qu (kN)	Q _{desain} (kN)	Q _{all} (kN)	SF	Evaluasi
0,60	3.520,89	1.400	1408.36	2.51	AMAN
0,80	4.945,85	1.950	1978.34	2.54	AMAN
1,00	6.496,47	2.600	2598.59	2.50	AMAN

Tabel 8. Evaluasi Penurunan Konsolidasi Primer (Analitis)

Q desain (kN)	D (m)	Sc total (m)	Sc total (mm)	Sc izin (mm)	Evaluasi
1.400	0,60	0,002904	2,904	25	AMAN
1.400	0,80	0,002844	2,844	25	AMAN
1.400	1,00	0,002786	2,786	25	AMAN
2.600	0,60	0,005394	5,394	25	AMAN
2.600	0,80	0,005282	5,282	25	AMAN
2.600	1,00	0,005173	5,173	25	AMAN

Tabel 9. Evaluasi Penurunan dan Faktor Keamanan berdasarkan PLAXIS 2D

D (m)	Qu (kN)	S (mm)	Qd (kN)	S (mm)	FK	Evaluasi
0,60	4.050	24,92	1.400	6,54	2,89	AMAN
0,80	4.700	24,76	1.950	9,68	2,41	AMAN
1,00	5.100	24,95	2.600	12,55	1,96	PERLU DITINJAU

5. Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Daya Dukung *Bored Pile* dan Tiang Kelompok Pada Pembangunan Gedung Utama OIKN” mendapatkan hasil sebagai berikut :

1. Nilai kapasitas dukung *Bored Pile* menggunakan metode *Meyerhof* (tahanan ujung) dan metode *Kulhawy* 1984 (tahanan selimut) pada kedalaman $L = 20$ m menunjukkan bahwa pada diameter 0.6 m menghasilkan $Q_u = 3520.89$ kN dan $Q_{all} = 1408.36$ kN, diameter 0.8 m menghasilkan $Q_u = 4945,85$ kN dan $Q_{all} = 1978.34$ kN serta diameter 1 m menghasilkan $Q_u = 6496.47$ kN dan $Q_{all} = 2598.59$ kN. Nilai kapasitas dukung fondasi *Bored Pile* 4 tiang kelompok pada diameter 0.6 m yaitu 10672 ton, pada diameter 0.8 m yaitu 14991.11 ton dan pada diameter 1 m yaitu 19691.12 ton. Ketiga variasi diameter memenuhi syarat keamanan aksial minimum $SF \geq 2,5$ sesuai SNI 8460:2017. Seluruh tiang dikategorikan sebagai tiang panjang dengan $L/R > 4$, sehingga aman terhadap beban lateral.
2. Penurunan konsolidasi primer (Sc) dihitung secara analitis menggunakan teori dari titik $2/3L = 13,33$ m. Nilai Penurunan fondasi tiang tunggal (Sc) dengan Q desain 1400 pada diameter

0.6 m yaitu 0,002904 m, diameter 0.8 m yaitu 0.002844 m dan diameter 1 m yaitu 0.00279 m. Kemudian untuk Q desain 2600 nilai penurunan pada diameter 0.6 m adalah 0.005394 m, diameter 0.8 m adalah 0.005282 m dan diameter 1 m adalah 0.005173 m. Ketiga variasi diameter masih berada di bawah batas izin 25 mm, dengan demikian seluruh variasi diameter tiang bor dinyatakan memenuhi persyaratan kapasitas dukung dan penurunan. Nilai penurunan fondasi *Bored Pile* 4 tiang kelompok pada diameter 0.6 m yaitu 5.43 m, untuk diameter 0.8 m yaitu 5.32 m dan untuk diameter 1 m yaitu 5.21 m.

3. Secara keseluruhan, seluruh variasi diameter tiang yang dianalisis memenuhi persyaratan SNI 8460:2017. Diameter $D = 1$ m memberikan kapasitas dukung terbesar, baik pada konfigurasi tunggal maupun kelompok, dan yang paling sesuai untuk melayani beban desain terbesar (Q desain = 2600 kN) pada gedung data center di kawasan OIKN. Untuk perbandingan hasil analitis dan PLAXIS 2D menunjukkan bahwa penurunan hasil PLAXIS 2D lebih besar dibandingkan hasil analitis.

5.2 Saran

Dari hasil perhitungan dan kesimpulan diatas penulis menyampaikan saran-saran sebagai berikut :

1. Untuk efisiensi konstruksi, disarankan agar penelitian atau perencanaan selanjutnya mempertimbangkan penurunan kedalaman tiang hingga di bawah 20 m (misalnya pada kisaran $L = 15-18$ m) dengan tetap melakukan evaluasi ulang terhadap kapasitas dukung dan penurunan yang dihasilkan, sehingga diperoleh desain fondasi yang lebih efisien dari segi biaya dan waktu konstruksi tanpa mengurangi faktor keamanan.
2. Analisis penurunan pada penelitian lanjutan sebaiknya memperhitungkan penurunan seketika (S_i) dan konsolidasi sekunder (S_s).
3. Monitoring penurunan perlu dilakukan selama dan setelah konstruksi, terutama karena tanah di kawasan OIKN didominasi lempung kelanauan dengan permeabilitas rendah. Monitoring dapat dilakukan dengan *settlement plate*, *inclinometer*, atau titik kontrol elevasi. Mengingat potensi konsolidasi jangka panjang pada tanah lempung OIKN, pemasangan instrumen pemantauan penurunan (*settlement marker* dan *piezometer*) sangat dianjurkan sejak tahap awal konstruksi untuk memastikan penurunan aktual tidak melebihi batas izin dan tidak menimbulkan kerusakan struktural.

Referensi

- Arif, M. R., Aini, N. S., Bustam, H. A., & Sari, N. (2025). Analisis daya dukung pondasi bored pile proyek pembangunan RSNTT18-01 Pasar Jum'at Jakarta Selatan. *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*, 11(2).
- Bowles, J.E., 1992, Analisis dan desain pondasi, edisi keempat jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Mandagi, A. T., Deguslim, S., & Ticoh, J. H. (2025). Analisis daya dukung bored pile dan tiang kelompok pada pembangunan Gedung Utama OIKN. *TEKNO*, 23(93), 1811–1822.
- Fahreza Gobel, Roski RI Legrans, Jack H Ticoh, (2024), Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok Pada Pekerjaan Transmisi Line 150 kV PTLT Terapung PT. PJB Masdar Solar Energy, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- G Roschedy, FJ Manoppo, AT Mandagi, K Gorontalo, 2019, ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI JEMBATAN GORR I, *Jurnal Sipil Statik* Vol.7 No.4 April 2019 (397-408) ISSN: 2337-6732.
- V Mamangkey, AE Turangan, L Manaroinson, 2018, ANALISIS PONDASI TIANG PANCANG PADA SILO SEMEN TONASA, *Jurnal Sipil Statik* Vol.6 No.12 Desember 2018 (1029-1034) ISSN: 2337-6732.
- Suhartono, E., Prihatiningsih, A., & Susilo, A. J. (2023). Analisis daya dukung dan efisiensi tiang bor dengan berbagai ukuran dan kedalaman di Jakarta Pusat. 7(1).
- VH Sanger, AN Sarajar, AT Mandagi, 2024, Analisis Daya Dukung Tanah Pada Pekerjaan Pembangunan RS. GMIM Kaupusan Langowan, *TEKNO* Volume 22, No. 89, Tahun 2024 ISSN: 0215-9617.
- JH Ticoh, JE Waani, AT Mandagi, CJ Supit, LDK Manaroinson, 2022, Studi Daya Dukung Izin Tanah Untuk Pondasi Gedung Di Desa Sea, Kec. Pineleng, Kabupaten Minahasa, *TEKNO* Volume 20 Nomor 80 April 2022 ISSN: 0215-9617.
- Fungsi Bangunan Gedung Pada Konstruksi Gedung Pusat Perbelanjaan Di Manado, *TEKNO* Volume 23, No. 91, Tahun 2025 ISSN: 0215-9617.
- WEM Wior, RRI Legrans, JH Ticoh, 2025, Studi Kapasitas Fondasi Tiang Pancang Untuk Kelaikan DAF Munsir, FJ Manoppo, SG Rondonuwu, 2024, Analisis Fondasi Tiang Bor Dan Fondasi Rakit Di

Tanah Berpotensi Likuifaksi (Studi Kasus : Daerah Pinggiran Jembatan Megawati Kota Manado),
TEKNO Volume 22, No. 89, Tahun 2024 ISSN: 0215-9617.