

Perbandingan hasil perhitungan kapasitas dukung dan penurunan fondasi tiang bor menggunakan metode manual dan PLAXIS 2D

Marfa Lena Sangkala^{1,*}, Hanindya Kusuma Artati¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Bored Pile
Mayerhof's (1976)
PLAXIS 2D
Vesic's (1977)

Corresponding Author:

Marfa Lena Sangkala
marfasangkala2@gmail.com
[m](#)

Abstract

This study compares the axial bearing capacity and settlement of bored pile foundations at the Terban Renovation project in Yogyakarta, using manual analytical methods and PLAXIS 2D numerical simulation. Soil parameters were obtained from Standard Penetration Test (SPT) data. Bearing capacity was calculated using Meyerhof's (1976) method, while pile group settlement was estimated using Vesic's (1977) method. The manual calculation produced an ultimate group bearing capacity of 4,778.449 kN for both column labels 123 and 143. PLAXIS 2D yielded lower values of 9576,71 kN for label 123 and 13144,3 kN for label 143, indicating that the numerical simulation provides more conservative bearing capacity estimates. This difference reflects how each method models soil-pile interaction and failure mechanisms. For settlement, the manual method gave 0.0053 m for both labels, while PLAXIS 2D returned 0.0096 m for label 123 and 0.0298 m for label 143. The variation between labels in the PLAXIS results is due to different axial loads at each column location, derived from the ETABS structural analysis. All settlement values satisfy the allowable limit for high-rise buildings under SNI 8460:2017 ($s < 15 \text{ cm} + b/600$), confirming that the foundation design meets deformation criteria under the applied loading conditions.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Fondasi adalah komponen struktural yang berperan sebagai elemen penyalur gaya dari bangunan bagian atas menuju lapisan tanah yang mampu memikulnya dengan tingkat keamanan yang memadai (Hardiyatmo, 2015).

Di kawasan perkotaan dengan tingkat kepadatan yang tinggi seperti Yogyakarta, pemilihan jenis fondasi juga menjadi pertimbangan yang penting. Selain meninjau kapasitas dukung tanah di lokasi, juga harus memperhatikan dampak pada lingkungan sekitar selama masa konstruksi. Oleh karena itu, penggunaan fondasi bored pile menjadi pilihan yang sering kali digunakan karena selain dapat mengurangi getaran dan

kebisingan, juga dapat mempertimbangkan kondisi geoteknik pada wilayah Yogyakarta yang dinamis serta rentan terhadap aktivitas seismik tingkat tinggi (SNI 1726:2019).

Karakteristik geoteknik di wilayah Yogyakarta secara umum didominasi oleh endapan fluvial vulkanik yang berasal dari aktivitas Gunung Merapi, di mana stratigrafi tanahnya kerap menunjukkan lapisan pasir dengan kepadatan tinggi. Berdasarkan data yang didapatkan pada pengujian lapangan berupa (SPT) *Standard Penetration Test* pada lokasi studi kasus, pada hasil pengujian didapatkan bahwa tanah dari lapis atas hingga ke dalam tertentu didominasi oleh lapisan pasir halus dan pasir lanauan, padat hingga sangat kaku, dengan nilai N-SPT berkisar antara 41 hingga lebih dari 60. Mengingat

besarnya ekspektasi beban struktural dari bangunan atas yang direncanakan, penerapan fondasi berupa *bored pile* dengan kedalaman 12 meter. Langkah ini diambil sebagai upaya mengoptimalkan kombinasi tahanan selimut (*skin friction*) sepanjang tiang di lapisan pasir padat tersebut serta perlawanan ujung (*end bearing*) pada lapisan pasir kasar di kedalaman rencana, sehingga mampu menjamin keamanan struktur terhadap penurunan (Das, 2019).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis kapasitas dukung aksial dan perilaku penurunan fondasi tiang secara komprehensif serta mengevaluasi tingkat efisiensi desain struktur fondasi dalam. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan dua hasil perhitungan dari 2 metode yang berbeda, yaitu metode analitis empiris manual dan simulasi numerik berbasis komputer. Analisis ini: proses perhitungan mengacu pada parameter tanah yang didapatkan langsung dari pengujian lapangan berupa Standard Penetration Test (SPT), dengan menerapkan dua metode analisis, yakni metode Meyerhof (1976) dalam menghitung kapasitas daya dukung serta metode Vesic (1977) untuk mengestimasi besarnya penurunan yang terjadi. Sedangkan untuk pemodelan PLAXIS 2D menggunakan (*Finite Element Method*). Seluruh perhitungan dilakukan pada fondasi eksisting dengan diameter tiang sebesar 0,6 m untuk memastikan keandalan struktur dalam menahan beban bangunan bertingkat tinggi di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta, sehingga di harapkan dapat memberikan rekomendasi untuk optimasi desain fondasi pada Proyek Renovasi Pasar Terban.

Tinjauan Pustaka

Investigasi kondisi tanah secara langsung di lokasi proyek merupakan langkah krusial guna memperoleh gambaran menyeluruh mengenai susunan lapisan tanah beserta sifat kekuatannya. Melalui hasil pengujian seperti nilai SPT (*Standard Penetration Test*), karakteristik mekanik tanah dapat

diidentifikasi dan diinterpretasikan dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi.

Nilai-nilai parameter tersebut selanjutnya dijadikan acuan pokok dalam proses penghitungan kapasitas daya dukung aksial maupun perkiraan penurunan fondasi tiang dengan menggunakan simulasi perilaku interaksi antara struktur fondasi dan tanah pasiran di sekitarnya, yang juga dilakukan melalui pemodelan numerik berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Method*) dengan bantuan perangkat lunak yang relevan.

Perbandingan antara hasil hitungan analitis dan keluaran simulasi komputer ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat keamanan desain fondasi kelompok, dengan tetap berpedoman pada standar perancangan geoteknik yang berlaku.

Kapasitas dukung fondasi tiang tunggal metode meyerhof (1976)

Kapasitas dukung aksial ultimit pada fondasi tiang didefinisikan sebagai hasil akumulasi antara dua faktor utama tahanan, yaitu kapasitas ujung tiang (*end bearing*) dan gesekan selimut (*skin friction*). Secara matematis, persamaan umum tersebut dinyatakan dalam Persamaan (1) berikut.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (1)$$

Dimana :

Q_u = nilai daya dukung maks tiang (kN)

Q_p = nilai daya dukung ujung bawah tiang (kN)

Q_s = total tahanan selimut di sepanjang tiang (kN)

Meyerhof (1976) memperkenalkan suatu cara perhitungan kapasitas dukung tiang yang memungkinkan evaluasi langsung terhadap fondasi tiang bor (*bored pile*) pada lapisan tanah berpasir maupun lanau nonplastis dengan memanfaatkan hasil uji SPT (*Standard Penetration Test*) sebagai dasar penghitungannya.

Dalam metode ini, perlawanan ujung satuan (f_p) pada tanah berpasir dikorelasikan dengan nilai N_{60} (nilai N-SPT terkoreksi pada ujung

tiang) dan tegangan referensi ($\sigma_r = 100 \text{ kN/m}$). Persamaan untuk menghitung tahanan ujung satuan (fp) serta total perlawanan ujung tiang (Qp) berdasarkan metode ini disajikan dalam Persamaan (2) sampai Persamaan (5) berikut.

$$f_p = 0,4 \times N_{60} \times (L/D) \times \sigma_r \quad (2)$$

$$f_p = \leq 3 \times N_{60} \times \sigma_r \quad (3)$$

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

$$Q_p = f_p \times A_p \quad (5)$$

Dimana :

N60 = nilai N-SPT terkoreksi

L = panjang tiang bor (m)

D = diameter fondasi (m)

σ_r = tegangan (100 kN/m²)

A_p = luas penampang dari ujung tiang

Perhitungan kapasitas daya dukung pada ujung tiang dapat dirumuskan sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (6) di bawah ini.

$$Q_s = \sum A_s \times f_s \quad (6)$$

Perhitungan A_s dan F_s bisa dilihat pada Persamaan (7) dan Persamaan (8) berikut ini.

$$A_s = \pi \times D \times t \quad (7)$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma_r \times N_{60} \quad (8)$$

Dimana :

t = tebal lapisan tanah (m)

D = diameter fondasi (m)

σ_r = tegangan referensi (kN/m²)

Setelah didapatkan nilai Q_p dan nilai Q_s, maka dapat dilanjutkan menghitung nilai Q_u dan Q_{all} yang dapat dilihat pada Persamaan (9) berikut.

$$SF = 3$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (9)$$

Daya dukung fondasi tiang dari Meyerhof (1976) merupakan hasil analisis variabilitas

yang menunjukkan bahwa faktor keamanan untuk formula kapasitas ujung tiang *bored pile* pada pasir adalah sebesar 1,35, yang berarti metode ini cenderung memberikan estimasi yang konservatif untuk kondisi tersebut.

Kapasitas dukung tiang kelompok

Langkah yang dilakukan sebelum menghitung nilai kapasitas dukung tiang kelompok adalah menentukan jumlah tiang fondasi menggunakan Persamaan (10) berikut.

$$n = \frac{p}{Q_{all}} \quad (10)$$

Dimana :

p = beban yang bekerja (kN)

Q_{all} = daya dukung izin tiang tunggal (kN)

Adapun jarak tiang dihitung berdasarkan regulasi P.U.T.L. (Dirjen Bina Marga Departemen P) yang dirumuskan dalam Persamaan (11) dan Persamaan (12).

$$S \geq 2,5 D \quad (11)$$

$$S \geq 3 D \quad (12)$$

Dimana :

S = spasi antar pusat tiang ke pusat tiang lainnya (m)

D = diameter (m)

Efisiensi kelompok tiang dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (13) berikut.

$$E_g = 1 - \theta \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right) \quad (13)$$

Dimana :

E_g = efisiensi kelompok tiang

m = jumlah baris

n = jumlah barisan tiang dalam baris

θ = arc tg d/s

s = spesi pusat tiang ke tiang lainnya

d = diameter (m)

Setelah didapatkan nilai E_g, maka dilanjutkan dengan menghitung kapasitas dukung ultimit menggunakan persamaan (14) berikut.

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u \quad (14)$$

Dimana :

Q_{ug} = beban maks kelompok tiang

E_g = efisiensi kelompok tiang bor

n = jumlah tiang

Q_u = daya dukung ultimit tiang

Penurunan fondasi tiang

Penurunan fondasi tiang terjadi akibat kombinasi deformasi elastis batang tiang itu sendiri dan deformasi tanah di sekitar serta di bawah ujung tiang. Vesic (1977) menyarankan metode semi-empiris untuk memperkirakan penurunan kepala tiang tunggal, di mana total penurunan merupakan penjumlahan dari tiga komponen: kompresi aksial tiang (se1), penurunan ujung tiang akibat beban selimut (se2), dan penurunan ujung tiang akibat beban end-bearing (se3).

Total penurunan tiang tunggal dapat dilihat pada Persamaan (15) berikut.

$$S = Se1 + Se2 + Se3 \quad (15)$$

Masing-masing komponen dihitung menggunakan Persamaan (16) sampai Persamaan (18) berikut.

$$Se1 = \frac{(Q_{wp} + \xi \cdot Q_{ws})L}{A_p \cdot E_p} \quad (16)$$

$$Se2 = \frac{(C_p \cdot Q_{wp})}{D \cdot q_p} \quad (17)$$

$$Se3 = \frac{Q_{ws}}{P \cdot L} \times \frac{D}{E_s} (1 - \mu^2) I_{ws} \quad (18)$$

Nilai konstanta ξ pada komponen se1 bergantung pada distribusi gesek selimut sepanjang tiang. Untuk distribusi seragam atau parabolik digunakan $\xi = 0,5$, sedangkan untuk distribusi segitiga digunakan $\xi = 0,67$. Komponen se2 menggunakan pendekatan semi-empiris serupa dengan persamaan penurunan fondasi dangkal, sementara komponen se3 dihitung berdasarkan beban rata-rata per satuan panjang selimut tiang.

Di mana E_p adalah modulus elastisitas material tiang, E_s adalah modulus elastisitas

tanah, C_p dan C_s adalah koefisien empiris yang bergantung pada jenis tanah dan metode instalasi tiang, serta D adalah diameter tiang.

Adapun rumus penurunan tiang kelompok dapat dilihat pada Persamaan (19) berikut.

$$S_g = S \sqrt{\frac{Bg}{D}} \quad (19)$$

Dimana :

S_g = penurunan fondasi kelompok tiang

S = penurunan fondasi tiang tunggal

Bg = lebar kelompok tiang

D = diameter tiang tunggal

Pemodelan numerik dengan PLAXIS 2D

Perhitungan dan simulasi perilaku tanah dilakukan menggunakan PLAXIS 2D, yaitu *software* geoteknik dengan basis komputasi metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) yang dikembangkan oleh Bentley Systems. Perangkat lunak ini dirancang untuk menangani permasalahan interaksi tanah-struktur yang kompleks, termasuk pemodelan fondasi tiang dan *pile raft*, dilengkapi dengan fitur-fitur khusus geoteknik seperti simulasi perilaku tanah dan respons beban fondasi.

Dalam penelitian ini, pemodelan tanah menggunakan model Mohr-Coulomb, yakni model nonlinear sederhana yang mensimulasikan perilaku tanah berdasarkan parameter yang umum tersedia di lapangan. Model ini dipilih karena mampu menghitung kapasitas dukung dan beban keruntuhan secara realistis, serta dapat mengevaluasi faktor keamanan melalui pendekatan *phi-c reduction*. Parameter masukan utamanya meliputi sudut geser dalam (ϕ), kohesi (c), modulus (E), sudut dilatasi (ψ) dan angka *Poisson* (ν) yang keseluruhan nilainya diturunkan dari korelasi empiris terhadap data N-SPT.

Metode Penelitian

Lokasi dan data penelitian

Studi ini dilakukan di jl . C. Simanjuntak Nomor 21, Terban, Kecamatan. Gondokusuman, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Data yang didapat berupa data hasil *Standard penetration test* (SPT) yang akan digunakan selama perhitungan pada penelitian. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



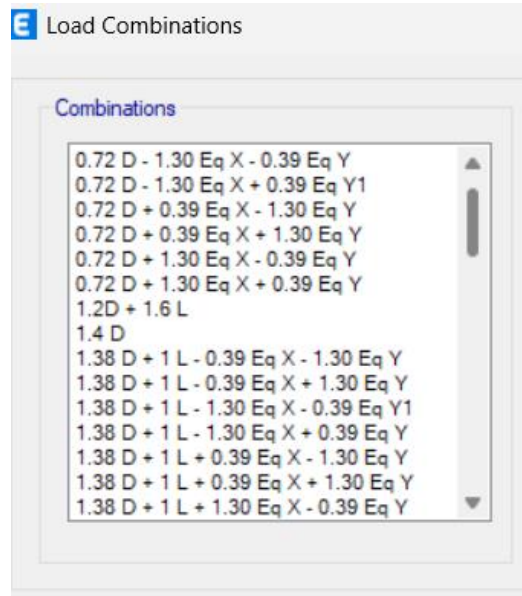
Gambar 1. Lokasi Penelitian Proyek Renovasi Pasar Terban

Analisis dan Pembahasan

Penelitian diawali dengan kajian pustaka terkait metode Meyerhof (1976) untuk daya dukung tiang, metode Vesic (1977) untuk estimasi penurunan, serta pemodelan numerik menggunakan PLAXIS 2D. Data SPT kemudian diolah sebagai dasar analisis kapasitas dukung tiang tunggal maupun kelompok, dilanjutkan dengan evaluasi penurunan fondasi guna memverifikasi pemenuhan syarat keamanan berdasarkan SNI 8460:2017. Apabila desain dinyatakan layak, perhitungan penurunan dilanjutkan menggunakan PLAXIS 2D. Hasil dari kedua pendekatan tersebut selanjutnya dibandingkan untuk mengukur besaran selisih antara metode analitis manual dan simulasi numerik.

Pembebanan struktur atas

Hasil pembebanan yang digunakan dalam pemodelan struktur atas menggunakan *software* ETABS menggunakan nilai kombinasi yang dapat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Kombinasi Pembebanan ETABS

Dimana :

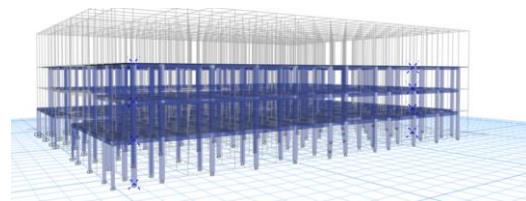
D = dead load

L = live load

Eq x = beban gempa sumbu x

Eq y = beban gempa sumbu y

Hasil pemodelan dan joint yang akan ditinjau dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Tampak 3D Pemodelan software ETABS

Berdasarkan hasil pemodelan struktur atas, didapatkan nilai beban aksial (Fz), momen sumbu x (Mx) dan momen sumbu y (My) sebagai berikut.

1. Label 123

Gaya aksial (Fz) = 3631.035 kN

Momen sumbu x (Mx) = 1121.2926 kN

Momen sumbu y (My) = 2122.1907 kN

2. Label 143

Gaya aksial (Fz) = 951.959 kN
Momen arah x (Mx) = 732.0866 kN
Momen arah y (My) = 3278.1308 kN

Data tanah

Penelitian ini memanfaatkan data hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) sebagai sumber data tanah utama. Dari kegiatan pengeboran yang dilakukan, terdapat 4 titik bor (BH) yang tersedia, namun dalam penelitian ini hanya BH 1 yang digunakan sebagai acuan analisis, sebagaimana tercantum pada Tabel 1.

Dipilihnya BH 1 didasarkan pada pertimbangan bahwa titik bor tersebut memiliki posisi yang paling mewakili kondisi tanah di lokasi fondasi yang dikaji. Data SPT dari BH 1 memuat informasi stratigrafi tanah mulai dari permukaan hingga kedalaman yang direncanakan, mencakup klasifikasi jenis tanah, nilai N-SPT pada setiap lapisan, serta ketebalan masing-masing lapisan tanah. Nilai N-SPT tersebut selanjutnya dijadikan parameter masukan utama dalam perhitungan kapasitas dukung tiang menggunakan pendekatan Meyerhof (1976), analisis penurunan dengan metode Vesic (1977), sekaligus menjadi landasan dalam penentuan nilai tanah dalam melakukan pemodelan numerik di software PLAXIS 2D.

Tabel 1. Data BH 1

Kedalaman	Nspt	Jenis
2	60	Lanau Pasiran
4	60	Pasir lanauan
6	48	Pasir Halus
8	41	Pasir kasar
10	46	Pasir kasar
12	49	Pasir kasar
14	39	Pasir kasar
16	46	Pasir kasar
18	49	Pasir kasar
20	49	Pasir kasar
22	46	Pasir Halus
24	29	Pasir Halus
26	48	Pasir Halus
28	50	Pasir Halus
30	53	Pasir Halus
32	50	Pasir Halus
34	48	Pasir Halus
36	53	Pasir Halus
38	51	Pasir Halus
40	56	Pasir Halus

(Sumber : Laporan Geoteknik Proyek Renovasi Pasar Terban)

Daya dukung pondasi tiang bor menggunakan metode Meyerhof (1976)

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan persamaan yang ada pada metode Meyerhof (1976), didapatkan hasil rekapitulasi yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi Nilai Daya Dukung Metode Meyerhof (1976)

No	Variable	Simbol	Pers	Nilai	Satuan
1	Diameter	D		0.6	m
2	Panjang <i>Bored pile</i>	L		12	m
3	Tahanan ujung tiang	Fp	(2), (3)	12495	kN/m2
4	Luas penampang	Ap	(4)	0.2827	m2
5	Daya dukung ujung	Qp	(5)	3532.878	kN
6	Luas selimut tiang	As	(7)	3.7699	m2
7	Gesekan selimut tiang	Fs	(8)	51	kN/m2
8	Kapasitas dukung selimut	Qs	(6)	974.145	kN
9	Kapasitas dukung ultimit	Qu	(1)	4507.02	kN
10	Kapasitas dukung izin	Qall	(9)	1502.34	kN
11	Jumlah tiang (label 123)	n	(10)	4	buah
12	Jumlah tiang (label 143)	n	(10)	4	buah
13	Efisiensi kelompok tiang (label 123)	Eg	(13)	0.7916	
14	Efisiensi kelompok tiang (label 143)	Eg	(13)	0.7916	
15	Daya dukung kelompok tiang	Qg	(14)	4778.449	kN

Penurunan tiang tunggal pondasi metode Vesic (1977)

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan persamaan yang ada pada Metode Vesic, maka

didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

Tabel 3. Rekapitulasi nilai Penurunan Tiang Tunggal Metode Vesic 143

No	Variable	Simbol	Pers	angka	Satuan
1	Kapasitas ujung	Qwp		3532.8780	kN
2	Kapasitas selimut	Qws		974.1451	kN
3	Faktor distribusi	ξ		0.67	
4	Panjang <i>bored pile</i>	L		12	m
5	Luas penampang	Ap		0.2827	m ²
6	Modulus elastisitas beton	Ep		25742960.2	kN/m ²
7	Penurunan pada badan tiang	Se1	(16)	0.0069	m
8	Koefisien empiris	Cp		12495	
9	Tahanan ujung tiang	qp		0.0051	kN/m ²
10	Penurunan akibat beban pada tiang	Se2	(17)	0.01527	m
11	Keliling penampang tiang	p		0.3	m
12	Modulus elastis tanah	Es		3.5652	kN/m ²
13	<i>Poisson's ratio</i>	μ_s		0.0003	
14	Faktor pengaruh	Iws		3.5652	
15	Penurunan akibat beban pada selimut tiang	Se3	(18)	0.0008	m
16	Penurunan total	S	(15)	0.0230	m

Penurunan tiang grup fondasi *bored pile* metode Vesic (1977)

Setelah mendapatkan hasil perhitungan penurunan total dari metode Vesic, dilanjutkan dengan menghitung penurunan kelompok tiang menggunakan persamaan yang ada pada metode Vesic. Hasil

perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi Nilai Penurunan Tiang Group Label 143 dan Label 123

No	Parameter	Simbol	Pers	Label 143	Label 123	Satuan
1	Diameter	D		0.6	0.6	m
2	Beban	P		3631.035	951.959	kN
3	Jumlah tiang	n		4	4	buah
4	Spasi antar tiang	s		1.8	1.8	m
5	Penurunan total tiang tunggal	S		0.0230	0.0230	m
6	Lebar <i>pilecap</i>	Bg		3.24	3.24	m
7	Penurunan total tiang grup	Sg	(16)	0.0535	0.0535	m
8	Penurunan izin	Sizin		0.1501	0.1501	m
9	Keterangan	Aman/Tidak		AMAN	AMAN	

Analisis Menggunakan PLAXIS 2D

Adapun tahapan yang akan dilakukan dalam analisis fondasi *bored pile* dengan *software* PLAXIS 2D sebagai berikut.

1. Memasukan data
 - a. Data material tanah
Dalam pemodelan PLAXIS 2D, parameter tanah menjadi sangat

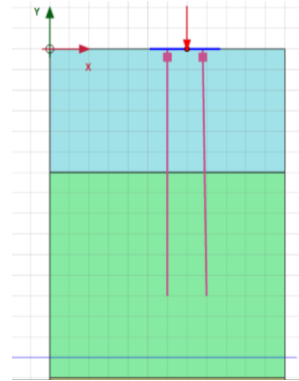
krusial karena besarnya penurunan akan dihitung secara konvergen oleh PLAXIS berdasarkan data tanah yang diinput. Data material tanah yang digunakan dalam analisis dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Data Tanah

Lapis 1		
No	Data Tanah	Nilai
1	Nspt	56
2	γ_{sat}	20
3	γ_{unsat}	18
4	E (modulus elastisitas)	100000
5	v (poisson ratio)	0.3
6	c (kohesi tanah)	0
7	ϕ (sudut geser)	35
Lapis 3		
No	Data Tanah	Nilai
1	Nspt	44.2
2	γ_{sat}	18
3	γ_{unsat}	16
4	E (modulus elastisitas)	100000
5	v (poisson ratio)	0.3
6	c (kohesi tanah)	0
7	ϕ (sudut geser)	30
Lapis 1		
No	Data Tanah	Nilai
1	Nspt	48
2	γ_{sat}	18
3	γ_{unsat}	16
4	E (modulus elastisitas)	100000
5	v (poisson ratio)	0.3
6	c (kohesi tanah)	0
7	ϕ (sudut geser)	30
Lapis 4		
No	Data Tanah	Nilai
1	Nspt	48.6
2	γ_{sat}	18
3	γ_{unsat}	16
4	E (modulus elastisitas)	100000
5	v (poisson ratio)	0.3
6	c (kohesi tanah)	0
7	ϕ (sudut geser)	30

2. Pemodelan geometri struktur
Pada penelitian ini digunakan pemodelan dengan konfigurasi susunan 4 tiang (2x2) fondasi tiang bor dengan *embedded beam* sebagai model material, dan untuk *pile cap* dimodelkan menggunakan material *plate* yang akan digambar sesuai

dengan *node-node* yang telah ditentukan pada perhitungan sebelumnya. Desain fondasi *bored pile* menggunakan PLAXIS 2D dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Permodelan Geometri

3. Perhitungan *phase* pada PLAXIS 2D
Pada saat menganalisis menggunakan *software*, dilakukan sebanyak 3 *phase*, yaitu tahap *initial phase*, *load phase*, dan *safety factor phase*. Adapun penjelasan lebih lanjut mengenai fase tersebut adalah sebagai berikut.
 - a. *Initial phase*
Fase ini bertujuan untuk memodelkan kondisi tegangan alami tanah (*in-situ stress* atau tegangan geostatik) sebelum adanya aktivitas konstruksi. Pembentukan tegangan awal pada fase ini umumnya dihitung menggunakan metode prosedur K0 (*K0-procedure*) untuk kondisi permukaan tanah yang diasumsikan datar (*horizontal*), atau menggunakan metode *gravity loading* untuk kondisi topografi yang tidak rata. Fase ini berfungsi untuk mencapai *ekuilibrium* tegangan tanah awal yang akan menjadi acuan dasar bagi perhitungan deformasi pada fase berikutnya.
 - b. *Load phase*
Fase ini merepresentasikan tahapan pelaksanaan konstruksi riil beserta pembebanannya. Tahap selanjutnya

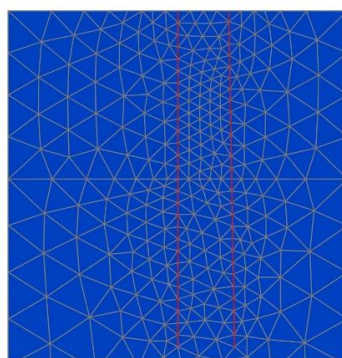
adalah pemodelan struktur fondasi (tiang bor) secara aktif ke dalam sistem, diikuti dengan aplikasi beban kerja aktual (*working load*) yang ditransfer dari struktur atas. Tipe kalkulasi yang digunakan umumnya berupa analisis plastis (*plastic calculation*) untuk mengevaluasi interaksi tanah-struktur secara komprehensif, termasuk distribusi tegangan-regangan tanah serta besaran deformasi atau penurunan total (*total settlement*) yang terjadi akibat pembebanan.

c. *Safety factor phase*

Fase ini merupakan tahapan akhir yang bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas global dan menentukan nilai Angka Keamanan (*Safety Factor*) dari sistem fondasi. Perhitungan kapasitas ultimit pada perangkat lunak umumnya dilakukan melalui pendekatan metode reduksi kuat geser tanah (*Phi/c reduction*).

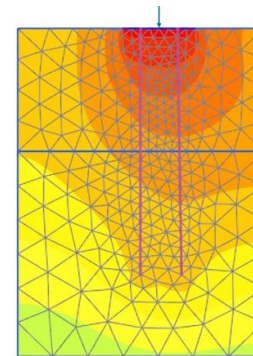
4. *Output*

Setelah tahap input dan pemodelan, dilakukan running untuk mengetahui nilai yang dihasilkan oleh *software* PLAXIS 2D. Terdapat 3 fase yang sedang dianalisis. Adapun hasil dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8 berikut.



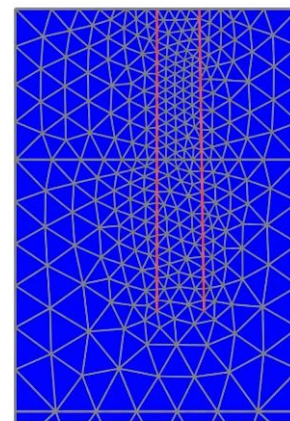
Total displacements |u| (at true scale)
Uniform value of 0.000 m

Gambar 5. *Total Displacements Initial Phase*
(Label 143)



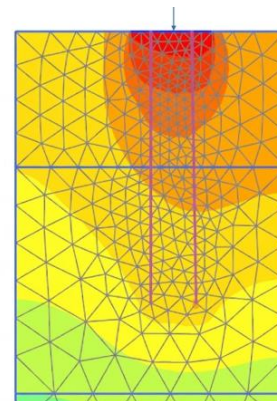
Total displacements |u| (scaled up 100 times)
Maximum value = 9.693×10^{-3} m (Element 190 at Node 6659)

Gambar 6. *Total Displacements Load Phase*
(Label 143)



Total displacements |u| (at true scale)
Uniform value of 0.000 m

Gambar 7. *Total Displacements Initial Phase*
(Label 123)



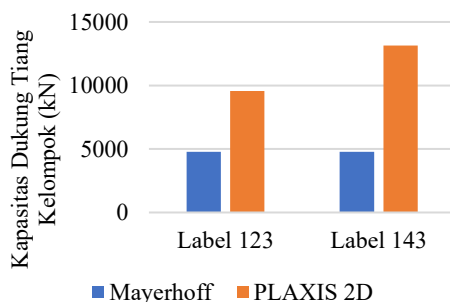
Total displacements |u| (scaled up 50.0 times)
Maximum value = 0.02982 m (Element 50 at Node 6231)

Gambar 8. *Total Displacements Load Phase*
(Label 123)

Kesimpulan

Berdasarkan analisis terhadap kapasitas dukung aksial dan penurunan fondasi tiang bor dengan diameter 0,6 m dan kedalaman fondasi 12 meter pada titik tinjauan kolom 123 dan 143, dapat ditarik beberapa poin simpulan sebagai berikut:

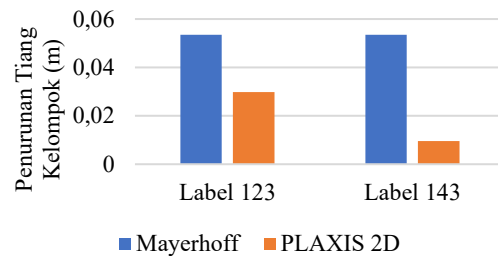
1. Analisis Kapasitas Dukung Kelompok Tiang:
 - a. Penggunaan metode Meyerhoff (1976) menghasilkan kapasitas dukung sebesar 4778,449 kN untuk kedua titik kolom.
 - b. Simulasi menggunakan PLAXIS 2D memberikan nilai kapasitas yang lebih tinggi, yaitu 9576.7075 kN pada kolom 123 dan 13144.3467 kN pada kolom 143. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Kapasitas Dukung Tiang Kelompok (Qg)

- c. Perbedaan nilai ini terjadi karena PLAXIS 2D memperhitungkan interaksi tanah-struktur secara lebih detail, sehingga menghasilkan nilai yang lebih konservatif dibandingkan pendekatan empiris Meyerhoff yang mengasumsikan kondisi batas seragam.
2. Analisis Penurunan Fondasi:
 - a. Perhitungan dengan Metode Vesic (1977) menghasilkan penurunan sebesar 0.05346 m pada kolom 123 dan kolom 143.
 - b. Simulasi PLAXIS 2D menghasilkan nilai penurunan sebesar 0,0096 m

(kolom 123) dan 0,0298 m (kolom 143). Sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 10 berikut



Gambar 10. Grafik Perbandingan Penurunan Kelompok Tiang (Sg)

- c. Variasi hasil penurunan antarmetode ini dipengaruhi oleh perbedaan distribusi beban aksial Fz serta metode pemodelan interaksi tanah-tiang yang diterapkan.
3. Evaluasi Keamanan Desain:
 - a. Berdasarkan kriteria batas penurunan izin sebesar 151 mm (hasil persamaan $S_{izin} < 15 \text{ cm} + b/600$), seluruh nilai penurunan dari kedua metode analisis menunjukkan angka yang jauh di bawah ambang batas tersebut.
 - b. Dengan demikian, desain fondasi pada Proyek Renovasi Pasar Terban telah memenuhi standar keamanan yang dipersyaratkan.

Daftar Pustaka

- Al-Atalla, M. A., Farouk, A. I. B., & Hatem, M. (2022). Modified Meyerhof approach for forecasting the reliable ultimate capacity of the large-diameter bored piles. *Scientific Reports*, 12, 8663. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12238-w>
- Billah, S. M., & Abdurrozak, M. R. (2024). Analisis perbandingan daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor menggunakan metode analitis dan metode elemen hingga. *Prosiding The 6th CeReform*, 185–195.
- Dandagawhal, S. (2018). Settlement analysis of pile foundation using PLAXIS 2D. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 8(9), 1706–1714.

- Darmawan, F. S., & Sari, K. I. (2022). Analisis daya dukung pondasi bored pile diameter 0,8 m pada proyek Gedung Menara BRI Jalan Putri Hijau, Medan. *Buletin Utama Teknik*, 18(1), 85–90.
- Das, B. M. (2019). *Principles of foundation engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Hardiyatmo, H. C. (2015). *Analisis dan perancangan fondasi II* (Edisi ke-3). Gadjah Mada University Press.
- Irnanan, M. C., Sholeh, M., & Zenurianto. (2024). Analisis fondasi bored pile pada Tower A Proyek Rusun Rawa Buntu Serpong Tangerang Selatan. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, 5(2).
<https://jurnal.polinema.ac.id/index.php/jos-mrk/article/view/5751>
- Kasmana, B. R., Artiani, G. P., & Darmiyanti, L. (2024). Analisis daya dukung pondasi borepile pada proyek pembangunan fasilitas perkeretaapian Manggarai–Jatinegara. *Gudang Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 2(8), 117–124.
- Krisnanto, W., Irsyam, M., & Fathoni, M. A. (2024). Analysis of the variability of axial bearing capacity of piles based on Meyerhof (1976) formula. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 31(1).
<https://doi.org/10.5614/jts.2024.31.1.9>
- Meyerhof, G. G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 102(3), 197–228.
- Napitupulu, K., & Sari, K. I. (2023). Analisis daya dukung dan penurunan pondasi bored pile berdasarkan data pengujian CPT dengan software PLAXIS pada pembangunan Pasar Baru Panyabungan Kabupaten Mandailing Natal. *Jurnal Teknik Sipil (JTSIP)*, 2(2).
<https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/JTSIP/article/view/8810>
- PLAXIS BV. (2023). *PLAXIS 2D reference manual*. Bentley Systems, Incorporated.
- Rokhman, R., Rini, R. P., Saputra, A., Rusmin, M., & Klau, J. (2023). Analisis daya dukung pondasi borepile pada proyek pembangunan Gedung Wing Kiri Stasiun Manggarai. *Gudang Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 2(8).
<https://gudangjurnal.com/index.php/gjmi/article/view/794>
- SNI 1726:2019. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 8460:2017. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional.
- Sundari, R. F., Roesyanto, Hasibuan, G. C. R., & Surbakti, R. (2024). Analisis daya dukung aksial bored pile 80 cm di proyek kompleks kantor-apartemen dengan metode analitis dan elemen hingga. *Syntax Admiration*, 5(4), 1251–1263.
- Vesic, A. S. (1977). *Design of pile foundations*. NCHRP Synthesis of Highway Practice No. 42. Transportation Research Board.