

Perancangan Alternatif Fondasi Dalam Pada Gedung SRC Office Jakarta Selatan

Diva Lestari¹, Femmy Tantiani¹, Syahril^{1*}, Iskandar¹

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Kota Bandung¹

Koresponden*, Email: syahril@polban.ac.id

Info Artikel		Abstract
Diajukan	05 Agustus 2026	<i>The SRC Office Building in South Jakarta was initially designed using 300 × 300 mm square pile foundations with a depth of 20 m. However, during construction, the piles reached only 16–18 m, resulting in a Safety Factor of 1.057, which is lower than the minimum requirement of 2.5 specified in SNI 8460:2017. This study aims to compare the performance of spun pile and bored pile foundations in terms of axial bearing capacity, required number of piles, settlement, safety factor, and construction method. The analyses were conducted using the Meyerhof, Reese & Wright, Poulos and Davis methods, and PLAXIS 2D with pile diameters of 0.4 m, 0.6 m, and 0.8 m. The results indicate that all foundation alternatives satisfy the design requirements for bearing capacity, safety factor, and settlement. Under soil conditions without a stiff soil lens, both spun pile and bored pile foundations are feasible. However, when a stiff soil lens obstructs pile driving, bored pile foundations are the more appropriate alternative because they can penetrate the lens and reach the designed hard soil layer.</i>
Diperbaiki	20 Agustus 2026	
Disetujui	27 Agustus 2026	
Keywords: bored pile foundation, spun pile, axial bearing capacity, lateral bearing capacity, PLAXIS 2D.		Abstrak Perencanaan awal fondasi Gedung SRC Office Jakarta Selatan menggunakan tiang pancang square pile 300 × 300 mm sedalam 20 m. Namun, realisasi kedalaman hanya mencapai 16–18 m, sehingga menghasilkan <i>Safety Factor</i> (SF) sebesar 1,057, lebih kecil dari syarat minimum 2,5 (SNI 8460:2017). Penelitian ini membandingkan kinerja fondasi tiang pancang <i>spun pile</i> dan tiang bor berdasarkan kapasitas daya dukung aksial, penurunan, faktor keamanan, serta metode pelaksanaannya. Analisis menggunakan metode <i>Meyerhof, Reese & Wright, Poulos dan Davis</i> , serta PLAXIS 2D dengan variasi diameter 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m. Hasil penelitian menunjukkan seluruh alternatif memenuhi persyaratan desain. Pada kondisi tanpa lapisan lensa tanah keras, kedua tipe fondasi sama-sama layak digunakan. Namun, jika terdapat lapisan lensa yang menghambat pemancangan, fondasi tiang bor lebih direkomendasikan karena dapat mencapai kedalaman rencana, dengan SF sebesar 2,6 (kondisi gempa) dan 2,7 (tanpa gempa) untuk diameter 0,6 m.
Kata kunci: fondasi tiang bor, spun pile, daya dukung aksial, daya dukung lateral, PLAXIS 2D.		

1. Pendahuluan

Gedung Kantor SRC (Sakti Rekatama Cipta) di Jakarta Selatan merupakan bangunan perkantoran lima lantai dengan luas bangunan 2.826 m² yang menggunakan sistem struktur beton bertulang. Berdasarkan data penyelidikan tanah, lapisan tanah keras berada pada kedalaman 24 m. Namun, fondasi awal berupa tiang pancang *square pile* berukuran 300 × 300 mm direncanakan hanya sampai kedalaman 20 m dan pada pelaksanaannya hanya mencapai sekitar 19 m, sehingga fondasi tidak mencapai lapisan tanah keras yang direncanakan. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya evaluasi terhadap kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi.

Keterbatasan kedalaman pemancangan dipengaruhi oleh kondisi pelaksanaan di lapangan. Proses pemancangan dihentikan ketika tekanan hidrolik alat *Hydraulic Static Pile Driver* (HSPD) mencapai batas tertentu untuk menghindari kerusakan pada tiang. Selain itu, data *boring log* menunjukkan adanya lapisan lensa pada kedalaman sekitar 19,5–21 m yang ditandai dengan nilai N-SPT tinggi tetapi

diikuti penurunan signifikan pada lapisan di bawahnya. Lapisan ini berpotensi menghambat proses pemancangan sehingga fondasi tidak dapat mencapai lapisan tanah keras.

Sebagai alternatif, fondasi tiang bor dipertimbangkan karena proses pengeboran memungkinkan tiang menembus lapisan lensa hingga mencapai kedalaman rencana. Selain itu, fondasi tiang pancang *spun pile* juga dipilih sebagai alternatif karena memiliki penampang silinder dengan distribusi tegangan yang lebih merata dan mutu beton yang lebih tinggi dibandingkan *square pile*, sehingga lebih tahan terhadap risiko keretakan selama pemancangan.

Beberapa penelitian telah membahas perencanaan dan perbandingan fondasi tiang pancang dan tiang bor. Khomeini [1] membandingkan kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang dan tiang bor pada pembangunan ruko tiga lantai. Muhammad Irsyad B. melakukan perencanaan struktur bawah menggunakan fondasi *bored pile* untuk mengevaluasi kinerja fondasi pada Gedung Dakwah Muhammadiyah Singosari [2]. Septory dkk. menganalisis pengaruh variasi diameter terhadap kapasitas daya dukung dan penurunan

fondasi *bored pile* menggunakan perangkat lunak GEO5 [3]. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum mengkaji perbandingan fondasi tiang pancang *spun pile* dan tiang bor pada kondisi tanah yang memiliki lapisan lensa (*stiff soil lens*) dengan mempertimbangkan kapasitas daya dukung, penurunan, faktor keamanan, dan metode pelaksanaan secara terpadu. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan membandingkan kedua jenis fondasi tersebut untuk menentukan alternatif yang paling sesuai pada Gedung SRC Office Jakarta Selatan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis dan membandingkan kinerja fondasi tiang pancang *spun pile* dan fondasi tiang bor dengan variasi diameter 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m pada dua skenario kondisi tanah, yaitu tanpa lapisan lensa dan dengan lapisan lensa. Analisis dilakukan terhadap kapasitas daya dukung, kebutuhan jumlah tiang, faktor keamanan, penurunan, serta metode pelaksanaan untuk menentukan alternatif fondasi yang paling sesuai pada Gedung SRC Office Jakarta Selatan.

2. Metode

Perancangan fondasi Gedung SRC Office Jakarta Selatan, struktur atas dimodelkan menggunakan perangkat lunak ETABS untuk memperoleh reaksi tumpuan, sedangkan kondisi tanah dan fondasi eksisting dimodelkan untuk merepresentasikan kondisi aktual di lapangan. Analisis dilakukan terhadap alternatif fondasi tiang pancang tipe *spun pile* dan tiang bor dengan mengacu pada SNI 8460:2017 untuk perencanaan fondasi serta SNI 2847:2019 untuk perencanaan *pile cap* [4, 5].

a. Rumusan Masalah

Tahap awal penelitian merumuskan ketidaksesuaian antara kondisi perencanaan dan aktual pada proyek Gedung SRC Office Jakarta Selatan. Data menunjukkan kedalaman tiang pancang di lapangan tidak mencapai rencana awal (20 meter). Pemancangan terpaksa dihentikan saat tekanan hidrolik alat *Hydraulic Pile Static Driver* (HSPD) mencapai 120 ton guna menghindari kerusakan tiang. Perbedaan kedalaman inilah yang memunculkan pertanyaan terkait keamanan dan kinerja fondasi eksisting.

b. Pengumpulan Data

Data yang digunakan diperoleh melalui pengajuan permohonan kepada pihak konsultan perencana proyek, serta didukung oleh studi literatur yang berkaitan dengan permasalahan yang diteliti.

c. Pemodelan Struktur Atas

Pemodelan struktur atas menggunakan perangkat lunak ETABS untuk memperoleh reaksi tumpuan. Sistem pembebanan mengacu pada SNI 1727:2020 mengenai Beban

Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain [6] serta SNI 1726:2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung [7].

d. Analisis Pembebanan

Hasil analisis dari pemodelan tersebut berupa gaya-gaya dalam dan reaksi perletakan pada titik tumpuan kolom, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam evaluasi fondasi eksisting dan perancangan alternatif fondasi.

e. Evaluasi Kinerja Fondasi Eksisting

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang telah terpasang masih memenuhi persyaratan keamanan dan kinerja sesuai ketentuan perencanaan. Analisis penurunan dan perilaku tanah dilakukan menggunakan *software* PLAXIS 2D dengan memodelkan kondisi tanah berdasarkan data penyelidikan tanah (N-SPT) serta parameter tanah dari hasil korelasi data N-SPT. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan batas penurunan izin dan kriteria faktor keamanan yang berlaku sebagai dasar dalam menentukan kelayakan fondasi eksisting.

f. Perancangan Fondasi Alternatif

Dilakukan perancangan alternatif fondasi yang diawali dengan analisis daya dukung tiang tunggal menggunakan metode Meyerhof, 1976 dan Reese & Wright, 1977 [8]. Tahap berikutnya meliputi perhitungan penurunan tiang tunggal dan daya dukung kelompok tiang serta distribusi beban pada setiap masing-masing tiang. Selanjutnya, dilakukan pemeriksaan nilai *safety factor* setiap konfigurasi kelompok tiang berdasarkan SNI 8460:2017 [4], yaitu minimum 2,5 untuk kondisi beban layan dan 1,5 untuk kondisi gempa. Apabila persyaratan tersebut telah terpenuhi, dilakukan analisis penurunan kelompok tiang secara analitis dan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D, kemudian dilanjutkan pemeriksaan daya dukung lateral, defleksi, gaya angkat (*uplift*), serta geser pons.

g. Pemilihan Fondasi Alternatif

Membandingkan kedua alternatif fondasi berdasarkan aspek daya dukung, faktor keamanan, penurunan, serta metode pelaksanaan di lapangan untuk menentukan jenis fondasi yang paling sesuai

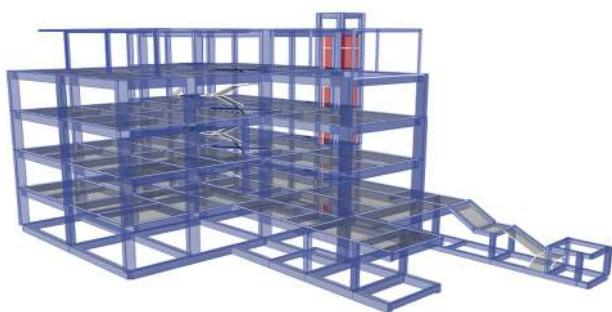
h. Perencanaan Struktur dan Gambar Kerja

Perhitungan analisis dalam perencanaan penulangan terhadap geser pons dan juga perhitungan kebutuhan penulangan fondasi tiang dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung [5].

3. Hasil dan Pembahasan

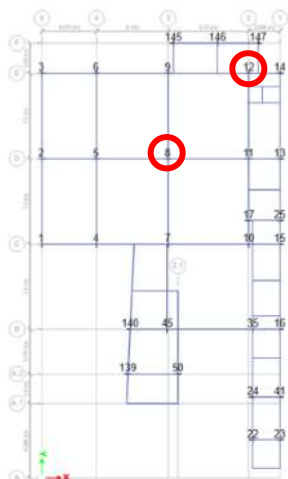
a. Analisis Hasil Pembebanan Struktur

Analisis pembebanan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS untuk memperoleh gaya dalam yang bekerja pada struktur bawah. Hasil analisis berupa *joint reaction* digunakan sebagai dasar dalam perencanaan fondasi, meliputi perhitungan kapasitas daya dukung, faktor keamanan, dan penurunan. Pemodelan struktur tiga dimensi menggunakan ETABS ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Model Struktur 3D

Analisis dilakukan pada dua kombinasi pembebanan, yaitu Kombinasi 8 ($1,0D + 0,7EV + 0,7EH$) dan Kombinasi 9 ($1,0D + 0,525EV + 0,525EH + 0,75L$). Berdasarkan hasil analisis, beban terbesar pada area tengah struktur terjadi pada *Joint 8*, sedangkan pada area tepi terjadi pada *Joint 12*. Posisi kedua joint tersebut pada denah struktur ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Model Struktur Tampak Atas

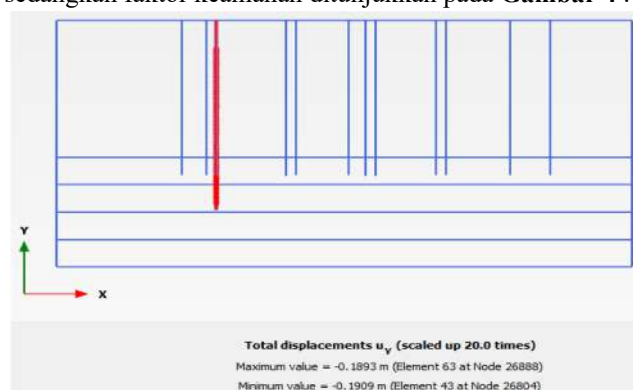
Setelah membandingkan kedua kombinasi pembebanan, kondisi paling kritis diperoleh pada *Joint 8* dengan Kombinasi 9, sedangkan *Joint 12* memiliki nilai terbesar pada Kombinasi 8. Untuk menjaga konsistensi perancangan, beban Kombinasi 9 digunakan sebagai dasar analisis kedua *joint* karena menghasilkan kondisi struktur yang paling kritis secara keseluruhan. Ringkasan hasil *joint reaction* yang digunakan dalam perancangan fondasi disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 *Joint Reaction* Kombinasi 9

Joint	FZ(V) (kN)	M1(Mx) (kN.m)	M2(My) (kN.m)
8	2.512,56	232,16	142,91
12	1.860,30	-75,76	-33,23

b. Evaluasi Fondasi Eksisting

Evaluasi fondasi eksisting dilakukan menggunakan PLAXIS 2D dengan memodelkan fondasi tiang pancang *square pile* berukuran 30×30 cm yang menerima beban hasil analisis struktur ETABS. Pemodelan bertujuan untuk mengevaluasi tingkat keamanan dan besarnya penurunan fondasi terhadap kondisi aktual di lapangan. Hasil analisis penurunan vertikal fondasi ditunjukkan pada **Gambar 3**, sedangkan faktor keamanan ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 3. Penurunan Vertikal Fondasi Eksisting

Reached values	
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	7.356E-6
ForceX - Reached total force	0.000 kN/m
ForceY - Reached total force	0.000 kN/m
Pmax - Reached max pp	2109 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.057

Gambar 4. *Safety Factor* Fondasi Eksisting

Berdasarkan hasil analisis PLAXIS 2D, fondasi eksisting memiliki *safety factor* sebesar 1,057 dan penurunan maksimum sebesar 0,19 m. Nilai tersebut belum memenuhi persyaratan SNI 8460:2017, yaitu *safety factor* minimum 2,5 dan batas penurunan izin sebesar 15,3 cm [4]. Oleh karena itu, fondasi eksisting dinilai belum memenuhi persyaratan stabilitas sehingga diperlukan perancangan alternatif fondasi dengan kapasitas daya dukung dan kinerja penurunan yang lebih baik.

c. Perancangan Alternatif Fondasi

Perancangan alternatif fondasi dilakukan pada fondasi tiang pancang menggunakan *spun pile* dan fondasi tiang bor

dengan variasi diameter 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m. Variasi diameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh dimensi tiang terhadap kapasitas daya dukung, penurunan, serta kebutuhan jumlah tiang. Analisis yang dilakukan meliputi daya dukung tiang tunggal, penurunan tiang tunggal, kebutuhan jumlah tiang, distribusi beban, daya dukung kelompok, penurunan kelompok, daya dukung lateral, gaya angkat (*uplift*), dan geser pons sebagai dasar dalam menentukan jenis fondasi dan dimensi yang paling sesuai dengan kondisi tanah dan beban struktur. Analisis kapasitas daya dukung dilakukan menggunakan metode Meyerhof dan Reese & Wright, sedangkan data geometri tiap variasi tiang pancang yang digunakan disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Data Geometri Tiang Pancang

Diameter Luar (Do)	Diameter Luar (Di)	Thickness (T)
(m)	(m)	(m)
0,4	0,25	0,075
0,6	0,4	0,1
0,8	0,56	0,12

Perancangan fondasi tiang pancang dilakukan pada dua kondisi, yaitu kedalaman 24 m sebagai kondisi tanpa lapisan lensa dan kedalaman 20 m sebagai kondisi dengan lapisan lensa. Kedalaman 24 m dipilih karena telah mencapai lapisan tanah keras dengan nilai N-SPT ≥ 50 , sedangkan pada kondisi dengan lapisan lensa proses pemancangan diasumsikan terhenti pada kedalaman 20 m sehingga tiang tidak dapat mencapai lapisan tanah keras. Pemodelan kedua kondisi tersebut ditunjukkan pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**. Sementara itu, perancangan fondasi tiang bor dilakukan pada kedalaman 24 m karena proses pengeboran mampu menembus lapisan lensa hingga mencapai lapisan tanah keras, sehingga menggunakan pemodelan yang sama dengan fondasi tiang pancang pada kedalaman 24 m. Selanjutnya dilakukan analisis daya dukung tiang tunggal untuk setiap variasi diameter pada masing-masing alternatif fondasi.

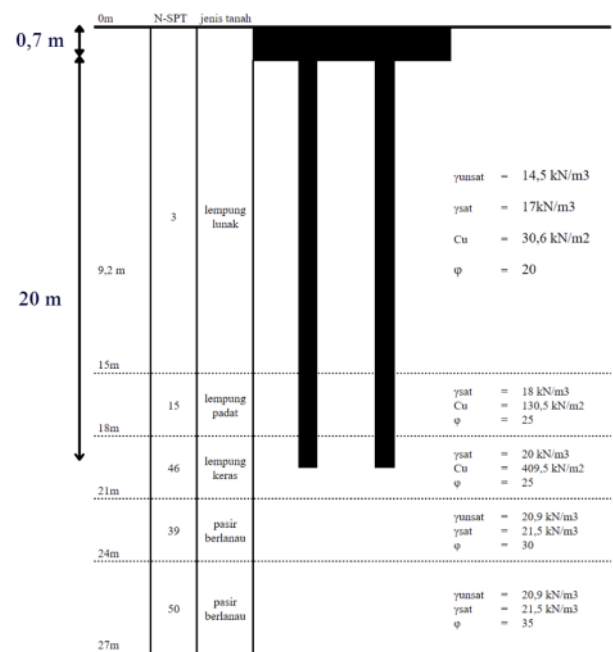
1) Koreksi Nilai N-SPT

Sebelum digunakan dalam analisis daya dukung tiang tunggal, nilai N-SPT dikoreksi menjadi N_{60} sesuai rekomendasi Skempton (1986) menggunakan Persamaan (1) berikut:

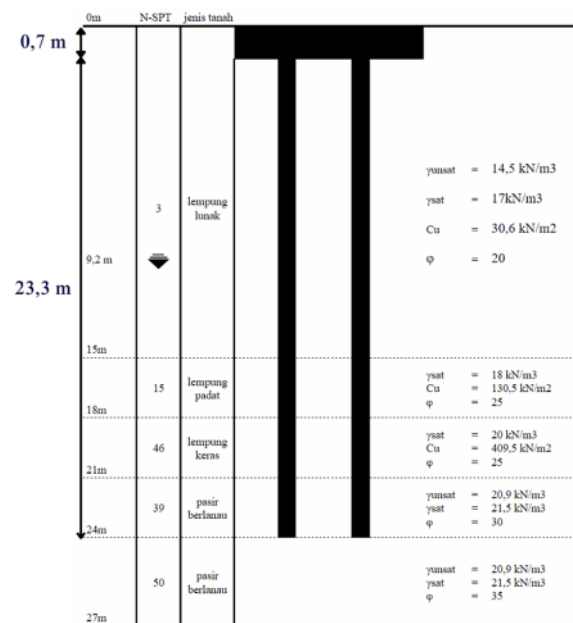
$$N_{60} = N \times \frac{1}{0,6} \times E_f \times C_b \times C_s \times C_r \quad (1)$$

Dengan:

- N = nilai pukulan SPT
- E_f = efisiensi energi palu
- C_b = faktor diameter lubang bor
- C_s = faktor tipe sampler
- C_r = faktor panjang batang bor



Gambar 5. Profil Tanah dan Pemodelan Fondasi Tiang Pancang Kedalaman 20 m



Gambar 6. Profil Tanah dan Pemodelan Fondasi pada Kedalaman 24 m

Hasil koreksi N_{60} disajikan pada **Tabel 3**. Proses koreksi ini dilakukan untuk menstandarisasi data *Standard Penetration Test* (SPT) mentah terhadap tingkat efisiensi energi tumbukan alat di lapangan sebesar 60%. Parameter N_{60} yang telah terkalibrasi ini selanjutnya akan menjadi acuan utama dalam menginterpretasikan profil kepadatan tanah serta

menghitung kapasitas daya dukung fondasi secara lebih akurat.

Tabel 3. Nilai Koreksi N_{60}

Kedalaman (m)	N-SPT	N_{60}
0-1,5	3	2,25
1,5-3	2	1,5
3-4,5	4	3
4,5-6	3	2,25
6-7,5	2	1,5
7,5-9	2	1,5
9-10,5	3	2,25
10,5-12	2	1,5
12-13,5	10	7,5
13,5-15	3	2,25
15-16,5	12	9
16,5-18	17	12,75
18-19,5	41	30,75
19,5-21	50	37,5
21-22,5	28	21
22,5-24	50	37,5
24-25,5	50	37,5
25,5-27	50	37,5

2) Analisis Daya Dukung Tiang Kelompok

Analisis daya dukung kelompok tiang dilakukan untuk mengetahui kemampuan kelompok tiang dalam menerima beban yang bekerja pada fondasi. Beban yang bekerja pada pile cap didistribusikan ke masing-masing tiang dengan mempertimbangkan beban aksial serta momen terhadap sumbu x dan y. Selanjutnya, daya dukung kelompok tiang dibandingkan dengan beban yang diterima untuk memastikan bahwa kapasitas fondasi memenuhi persyaratan keamanan. Beban aksial pada masing-masing tiang dapat dihitung menggunakan Persamaan (2) dan Persamaan (3) berikut:

$$Q_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{\sum y^2} \quad (2)$$

$$M_y = e_x \cdot V \text{ dan } M_x = e_y \cdot V \quad (3)$$

Dimana:

Q_i	=	Beban aksial pada tiang ke-i
n	=	Jumlah tiang
x, y	=	Jarak tiang terhadap sumbu y dan x (titik berat <i>pile cap</i>)
M_x, M_y	=	Momen terhadap sumbu x dan y
e_x, e_y	=	Eksentrisitas resultan beban searah sumbu x dan y

Berdasarkan hasil perhitungan, daya dukung kelompok tiang (Q_{pg}) dan faktor keamanan (SF) dievaluasi terhadap dua kondisi pembebanan, yaitu beban gempa sebesar $V = 2.512,6$ kN dan beban layan sebesar $V = 2.420,2$ kN. Analisis dilakukan pada fondasi tiang pancang dan tiang bor, baik pada kondisi tanpa lapisan lensa maupun dengan lapisan lensa. Rekapitulasi hasil perhitungan daya dukung kelompok

tiang dan faktor keamanan disajikan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

Tabel 4. Rekapitulasi Daya Dukung Kelompok Tiang tanpa Lensa

Tipe Tiang	Joint	D (m)	h (m)	Σ tiang	Q_{pg} (kN)	SF	SF
Pancang	8	0,4	24	4	7311,7	2,9	3,0
		0,6	24	2	8845,3	3,5	3,7
		0,8	24	1	8594,5	3,4	3,6
		0,4	24	3	5483,8	2,9	5,0
	12	0,6	24	1	5032,1	2,7	4,6
		0,8	24	1	8594,5	4,6	7,8
		0,4	24	5	6997,1	2,8	2,9
		0,6	24	2	6608,8	2,6	2,7
Bor	8	0,8	24	1	6332,5	2,5	2,6
		0,4	24	3	4198,3	2,3	3,8
		0,6	24	2	6608,8	3,6	6,0
	12	0,8	24	1	6332,5	3,4	5,8

Tabel 5. Rekapitulasi Daya Dukung Kelompok Tiang dengan Lensa

Tipe Tiang	Joint	D (m)	h (m)	Σ tiang	Q_{pg} (kN)	SF	SF
Pancang	8	0,4	20	5	6779,3	2,7	2,8
		0,6	20	2	6755,4	2,7	2,8
		0,8	20	1	6669,9	2,7	2,8
		0,4	20	4	5423,4	2,9	4,9
	12	0,6	20	2	6755,4	3,6	6,1
		0,8	20	1	6669,9	3,6	6,1
		0,4	24	5	6997,1	2,8	2,9
		0,6	24	2	6608,8	2,6	2,7
Bor	8	0,8	24	1	6332,5	2,5	2,6
		0,4	24	3	4198,3	2,3	3,8
		0,6	24	2	6608,8	3,6	6,0
	12	0,8	24	1	6332,5	3,4	5,8

Berdasarkan **Tabel 4** dan **Tabel 5**, seluruh alternatif fondasi tiang pancang dan tiang bor, baik pada kondisi tanpa lapisan lensa maupun dengan lapisan lensa, memenuhi persyaratan faktor keamanan, yaitu $SF \geq 1,5$ untuk beban gempa dan $SF \geq 2,5$ untuk beban layan. Hal ini menunjukkan bahwa daya dukung kelompok tiang pada seluruh variasi diameter mampu menahan beban yang bekerja dan memenuhi persyaratan desain.

3) Pemilihan Dimensi

Berdasarkan hasil analisis daya dukung tiang tunggal, penurunan, dan daya dukung kelompok, dilakukan pemilihan diameter tiang pancang dengan mempertimbangkan rasio pemanfaatan kapasitas, jumlah tiang, serta pemenuhan persyaratan daya dukung dan penurunan. Rekapitulasi hasil analisis pada kedalaman 24 m dan 20 m disajikan pada **Tabel 6** dan

Tabel 7.

Tabel 6. Rekapitulasi Pemilihan Diameter Tiang Pancang Kedalaman 24 m

Joint	Diameter (m)	Σ Tiang	Rasio Kapasitas (%)
8	0,4	4	84,53%
	0,6	2	67,15%
	0,8	1	73,09%
12	0,4	3	68,90%
	0,6	1	92,42%
	0,8	1	54,11%

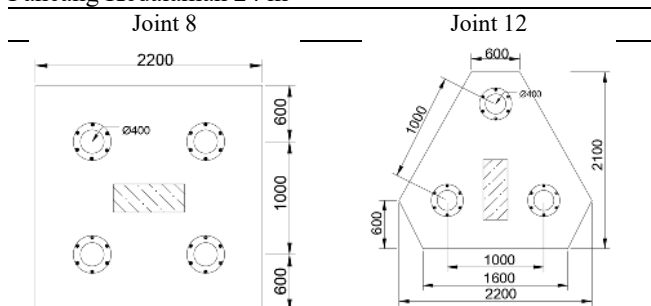
Tabel 7. Rekapitulasi Pemilihan Diameter Tiang Pancang Kedalaman 20 m

Joint	Diameter (m)	Σ Tiang	Rasio Kapasitas (%)
8	0,4	5	88,74%
	0,6	2	87,92%
	0,8	1	94,18%
12	0,4	4	72,59%
	0,6	2	63,79%
	0,8	1	69,73%

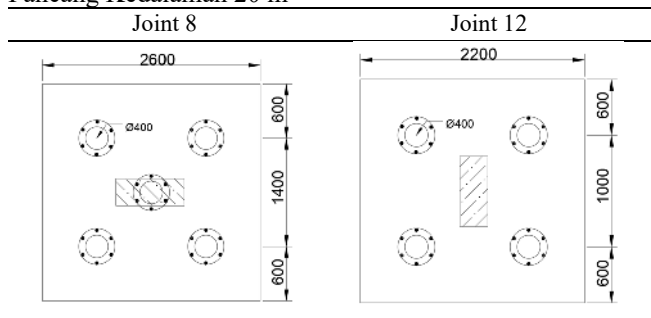
Berdasarkan **Tabel 6** dan

Tabel 7, diameter 0,4 m dipilih sebagai diameter rencana pada kedalaman 24 m maupun 20 m. Meskipun beberapa variasi diameter menghasilkan rasio pemanfaatan kapasitas yang lebih tinggi pada kondisi tertentu, diameter 0,4 m memberikan kinerja yang paling konsisten pada kedua joint serta memenuhi persyaratan daya dukung dan penurunan. Berdasarkan diameter terpilih, konfigurasi kelompok tiang untuk masing-masing kedalaman disajikan pada **Tabel 8** dan **Tabel 9**.

Tabel 8. Konfigurasi Kelompok Tiang Fondasi Tiang Pancang Kedalaman 24 m



Tabel 9. Konfigurasi Kelompok Tiang Fondasi Tiang Pancang Kedalaman 20 m



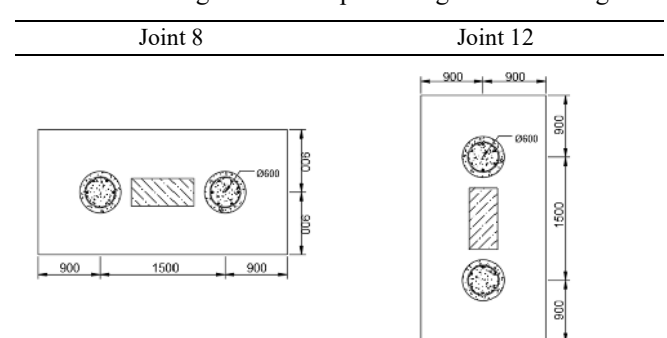
Analisis pemilihan diameter juga dilakukan pada fondasi tiang bor menggunakan tahapan yang sama seperti pada fondasi tiang pancang. Rekapitulasi hasil pemilihan diameter fondasi tiang bor disajikan pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Rekapitulasi Pemilihan Diameter Tiang Bor

Joint	Diameter (m)	Σ Tiang	Rasio Kapasitas (%)
8	0,4	5	85,98%
	0,6	2	89,87%
	0,8	1	99,19%
12	0,4	4	85,50%
	0,6	2	65,21%
	0,8	1	73,44%

Berdasarkan **Tabel 10**, seluruh variasi diameter memenuhi persyaratan desain. Diameter 0,6 m dipilih sebagai diameter rencana karena memberikan keseimbangan antara rasio kapasitas dan efisiensi jumlah tiang, yaitu dua tiang pada setiap joint. Konfigurasi kelompok tiang hasil pemilihan diameter ditunjukkan pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Konfigurasi Kelompok Tiang Fondasi Tiang Bor



4) Analisis Penurunan Kelompok

Analisis penurunan kelompok tiang dilakukan untuk mengevaluasi besarnya deformasi vertikal akibat pembebanan pada fondasi. Penurunan segera dihitung menggunakan metode Janbu et al. (1956) dengan Persamaan (4) sebagai berikut.

$$S_i = \mu_1 \mu_0 \frac{qB}{E} \quad (4)$$

Dimana:

S_i = Penurunan segera (m)

μ_1 = Faktor koreksi untuk lapisan tanah dengan tebal terbatas H

μ_0 = Faktor koreksi untuk kedalaman fondasi Df

B = Lebar fondasi atau diameter (m)

q = Tekanan fondasi *netto* (fondasi di permukaan $q = q_n$) (kN/m²)

E = Modulus elastis tanah (kN/m²)

Hasil perhitungan penurunan kelompok tiang pada kedalaman 20 m dan 24 m disajikan pada **Tabel 12**.

Tabel 12. Rekapitulasi Penurunan Kelompok Tiang Pancang

h (m)	Σ Tiang	Joint	Dia. (m)	Si(cm)
24	4	8	0,4	3,8642
	3	12	0,4	4,261
20	5	8	0,4	9,7240
	4	12	0,4	9,1635

Analisis penurunan kelompok pada fondasi tiang bor dilakukan menggunakan metode yang sama seperti pada fondasi tiang pancang. Hasil perhitungan penurunan kelompok tiang bor disajikan pada **Tabel 13**.

Tabel 13. Rekapitulasi Penurunan Kelompok Tiang Bor

h (m)	Σ Tiang	Joint	Dia. (m)	Si(cm)
24	4	8	0,6	4,868
	3	12	0,6	2,708

Berdasarkan **Tabel 12** dan **Tabel 13**, penurunan kelompok fondasi tiang pancang pada kedalaman 20 m lebih besar dibandingkan kedalaman 24 m, sedangkan fondasi tiang bor yang direncanakan pada kedalaman 24 m juga menghasilkan nilai penurunan yang masih berada di bawah batas penurunan izin sebesar $15 + B/600$ (15,4 cm). Dengan demikian, baik fondasi tiang pancang maupun fondasi tiang bor memenuhi persyaratan penurunan yang diizinkan.

5) Analisis Daya Dukung Lateral dan Defleksi Tiang

Analisis daya dukung dan defleksi lateral tiang dalam menahan beban horizontal dievaluasi menggunakan metode Broms (1964) untuk tanah kohesif, guna memastikan defleksinya tetap memenuhi batas izin SNI 8460:2017. Namun, sebelum perhitungan tersebut dilakukan, perilaku tiang harus diklasifikasikan terlebih dahulu menjadi tiang pendek (kaku) atau panjang (tidak kaku) melalui perhitungan Persamaan (5) dan Persamaan (6) faktor kekakuan.

$$R = \sqrt[4]{\frac{EI}{KD}} \quad (5)$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{\eta h}} \quad (6)$$

Keterangan:

- K = Modulus tanah
- Ks = Modulus reaksi *subgrade* dari Terzaghi
- E = Modulus elastis tiang
- I = Momen inersia tiang
- D = Lebar atau diameter tiang
- ηh = Modulus variasi

Berdasarkan hasil perhitungan faktor kekakuan, tiang dikategorikan sebagai tiang tidak kaku sehingga analisis daya dukung lateral menggunakan persamaan Broms untuk tiang ujung jepit pada tanah kohesif melalui Persamaan (7).

$$Hu = \frac{2My}{1,5d + 0,5f} \quad (7)$$

Defleksi lateral dihitung menggunakan Persamaan (8) berikut:

$$y_o = \frac{H\beta}{K_h d} \quad (8)$$

Hasil rekapitulasi analisis daya dukung lateral dan defleksi tiang disajikan pada **Tabel 14**.

Tabel 14. Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Pancang

h (m)	Joint	Ha (kN)	Hx	Hy	y _o (m)
24	8	110,0	12,9	-20,8	0,025
	12	110,0	-43,6	12,0	0,025
20	8	104,2	10,3	-16,7	0,025
	12	104,2	-32,7	9,0	0,025

Analisis daya dukung lateral fondasi tiang bor dilakukan dengan metode yang sama seperti fondasi tiang pancang. Rekapitulasi hasil analisis disajikan pada **Tabel 15**.

Tabel 15. Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Bor

h (m)	Joint	Ha (kN)	Hx	Hy	y _o (m)
24	8	111,8	25,8	-41,6	0,025
	12	111,8	-65,3	18,0	0,025

Berdasarkan **Tabel 14** dan **Tabel 15**, kapasitas lateral tiang lebih besar daripada beban lateral yang bekerja pada kedua arah. Selain itu, defleksi lateral sebesar 0,025 m masih memenuhi batas yang diizinkan, sehingga fondasi dinyatakan aman terhadap beban lateral.

6) Analisis Gaya Angkat

Analisis gaya angkat (*buoyancy*) dilakukan untuk memastikan fondasi mampu menahan gaya apung akibat muka air tanah. Berdasarkan SNI 8460:2017, faktor keamanan minimum terhadap gaya angkat adalah 1,5. Gaya angkat dihitung menggunakan Persamaan (9) berikut.

$$Uf = \gamma_w \times h \times A \quad (9)$$

Dimana:

- γ_w = Berat volume air (kN/m³)
- h = Kedalaman muka air tanah ke dasar fondasi(m)
- A = Luas *pile cap* (m²)

Hasil rekapitulasi analisis gaya angkat fondasi tiang pancang dan tiang bor disajikan pada **Tabel 16**.

Tabel 16 Rekapitulasi Gaya Angkat Fondasi Tiang Pancang

h (m)	Joint	Dia. (m)	Uplift Force (kN)	SF
24	8	0,4	599,9	2,66
	12	0,4	396,0	3,03
20	8	0,4	607,5	1,52
	12	0,4	387,1	1,91

Analisis gaya angkat fondasi tiang bor dilakukan menggunakan metode yang sama seperti pada fondasi tiang pancang. Rekapitulasi hasil perhitungan disajikan pada **Tabel 17**.

Tabel 17. Rekapitulasi Gaya Angkat Fondasi Tiang Bor

h (m)	Joint	Dia. (m)	Uplift Force (kN)	SF
24	8	0,6	743,408	1,870
	12	0,6	743,408	1,870

Berdasarkan **Tabel 16** dan **Tabel 17**, baik fondasi tiang pancang maupun tiang bor memiliki faktor keamanan terhadap gaya angkat lebih besar dari 1,5 sehingga keduanya memenuhi persyaratan stabilitas terhadap gaya angkat sesuai SNI 8460:2017.

7) Analisis Geser Pons

Analisis geser pons dilakukan untuk mengevaluasi kecukupan tebal pile cap dalam menahan beban terpusat di sekitar kolom. Pile cap dinyatakan aman apabila gaya geser terfaktor (V_u) lebih kecil dari kuat geser nominal (V_c). Kuat geser nominal dihitung menggunakan Persamaan (11), Persamaan (12), dan Persamaan (13) berikut.

$$V_{cpon} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (5)$$

$$V_{cpons} = 0,083 \left(\frac{a_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (6)$$

$$V_{cpons} = 0,33 \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (7)$$

Dimana:

V_{cpons}	=	Geser pons
β	=	Rasio panjang terhadap sisi pendek kolom
λ	=	0,85 untuk beton ringan dan $\lambda=1$ untuk beton normal
b_o	=	Keliling penampang kritis
d	=	Tebal efektif
a_s	=	40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom susut

Hasil rekapitulasi analisis geser pons disajikan pada **Tabel 18**. Analisis geser pons pada fondasi tiang bor dilakukan menggunakan persamaan yang sama seperti pada fondasi tiang pancang. Sehingga untuk hasil rekapitulasi analisis geser pons fondasi tiang bor dapat dilihat pada **Tabel 19**.

Tabel 18. Rekapitulasi Geser Pons Tiang Pancang

h (m)	Joint	Dia. (m)	ϕV_c (kN)	V (kN)
24	8	0,4	2795,9	2512,6
	12	0,4	2795,9	1860,3
20	8	0,4	2795,9	2512,6
	12	0,4	2795,9	1860,3

Tabel 19. Rekapitulasi Geser Pons Tiang Bor

h (m)	Joint	Dia. (m)	ϕV_c (kN)	V (kN)
24	8	0,6	3134,8	2512,6
	12	0,6	3134,8	1860,3

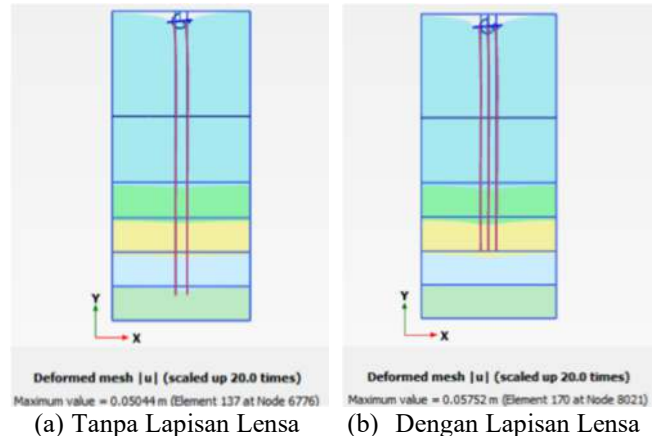
Berdasarkan **Tabel 18** dan **Tabel 19**, seluruh pile cap seluruh *pile cap* pada fondasi tiang pancang maupun tiang bor memenuhi persyaratan geser pons karena nilai V_u lebih kecil daripada ϕV_c .

d. Penentuan Fondasi Terpilih

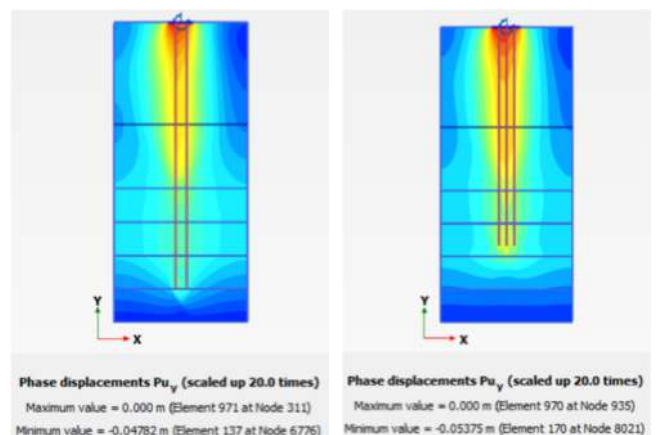
Meskipun fondasi tiang pancang dan tiang bor sama-sama memenuhi seluruh persyaratan teknis, fondasi tiang bor dipilih sebagai alternatif yang lebih sesuai karena kemampuannya menembus lapisan lensa hingga kedalaman rencana 24 meter, serta menawarkan metode pelaksanaan yang lebih fleksibel dengan minim gangguan terhadap bangunan sekitar.

e. Hasil Pemodelan PLAXIS 2D

Pemodelan fondasi tiang bor menggunakan PLAXIS 2D dilakukan untuk menganalisis perilaku fondasi akibat beban yang bekerja. Pemodelan mempertimbangkan kondisi tanah, geometri fondasi, parameter material, dan tahapan pembebanan. Pemodelan tiang pancang Joint 8 dilakukan dua kondisi, yaitu kedalaman 24 m sebagai kondisi tanpa pengaruh lapisan lensa serta kedalaman 20 m sebagai kondisi ketika proses pemancangan terhenti di atas lapisan lensa. Hasil pemodelan berupa deformasi, penurunan vertikal, dan nilai *safety factor*, dapat dilihat pada **Gambar 7**, **Gambar 8**, dan **Gambar 9**.



Gambar 7. Hasil Analisis PLAXIS 2D Deformasi Fondasi Tiang Pancang Joint 8



(a) Tanpa Lapisan Lensa (b) Dengan Lapisan Lensa

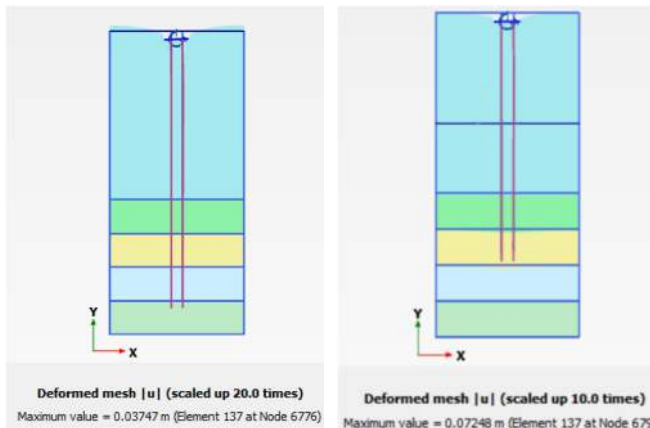
Gambar 8. Hasil Analisis PLAXIS 2D Penurunan Fondasi Tiang Pancang Joint 8

Reached values		Reached values	
Reached total time	0.000 day	Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.030	CSP - Relative stiffness	0.0353
ForceX - Reached total fori	0.000 kN	ForceX - Reached total fori	0.000 kN
ForceY - Reached total fori	0.000 kN	ForceY - Reached total fori	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	147.8 kN	Pmax - Reached max pp	335.5 kN
IM _{stage} - Reached phase p	0.00	IM _{stage} - Reached phase p	0.00
IM _{weight} - Reached weight	1.00	IM _{weight} - Reached weight	1.00
IM _μ - Reached safety fact	2.8	IM _μ - Reached safety fact	2.35

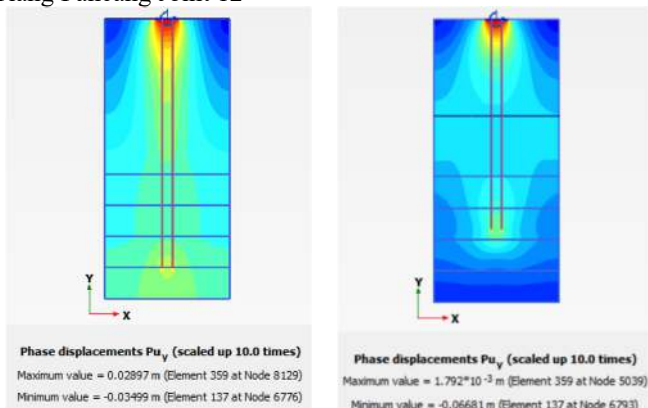
(a) Tanpa Lapisan Lensa (b) Dengan Lapisan Lensa

Gambar 9. Hasil Analisis PLAXIS 2D *Safety Factor* Fondasi Tiang Pancang Joint 8

Pada Joint 12, pemodelan dilakukan dengan kondisi kedalaman yang sama seperti pada Joint 8. Hasil pemodelan berupa deformasi, penurunan vertikal, dan nilai *safety factor* dapat dilihat pada **Gambar 10**, **Gambar 11**, dan **Gambar 12**.



(a) Tanpa Lapisan Lensa (b) Dengan Lapisan Lensa

Gambar 10. Hasil Analisis PLAXIS 2D Deformasi Fondasi Tiang Pancang Joint 12

(a) Tanpa Lapisan Lensa (b) Dengan Lapisan Lensa

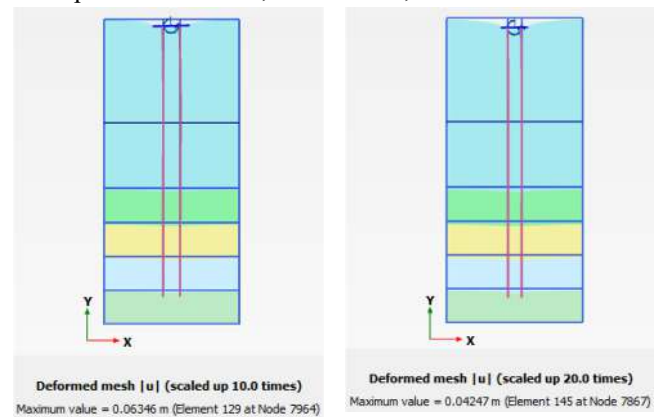
Gambar 11. Hasil Analisis PLAXIS 2D Penurunan Fondasi Tiang Pancang Joint 12

Reached values		Reached values	
Reached total time	0.000 day	Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.5556E-3	CSP - Relative stiffness	0.02642
ForceX - Reached total fori	0.000 kN/m	ForceX - Reached total fori	0.000 kN/m
ForceY - Reached total fori	0.000 kN/m	ForceY - Reached total fori	0.000 kN/m
Pmax - Reached max pp	106.0 kN/m ²	Pmax - Reached max pp	1598 kN/m ²
IM _{stage} - Reached phase p	0.000	IM _{stage} - Reached phase p	0.000
IM _{weight} - Reached weight	1.000	IM _{weight} - Reached weight	1.000
IM _μ - Reached safety fact	3.144	IM _μ - Reached safety fact	2.412

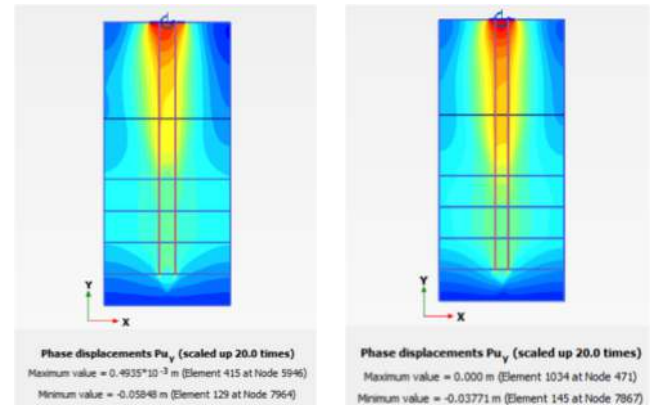
(a) Tanpa Lapisan Lensa (b) Dengan Lapisan Lensa

Gambar 12. Hasil Analisis PLAXIS 2D *Safety Factor* Fondasi Tiang Pancang Joint 12

Pemodelan tiang bor dilakukan pada kedalaman rencana 24 m, baik pada kondisi tanpa lapisan lensa maupun dengan keberadaan lapisan lensa, karena metode pengeboran memungkinkan tiang menembus lapisan lensa hingga mencapai kedalaman rencana. Hasil pemodelan berupa, deformasi, penurunan vertikal, dan nilai *safety factor* dapat dilihat pada **Gambar 13**, **Gambar 14**, dan **Gambar 15**.



(a) Tiang Bor Joint 8 (b) Tiang Bor Joint 12

Gambar 13. Hasil Analisis PLAXIS 2D Deformasi Fondasi

(a) Tiang Bor Joint 8 (b) Tiang Bor Joint 12

Gambar 14. Hasil Analisis PLAXIS 2D Penurunan Fondasi

Reached values	
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.04340
ForceX - Reached total for	0.000 kN/m
ForceY - Reached total for	0.000 kN/m
Pmax - Reached max pp	154.5 kN/m ²
IM _{stage} - Reached phase p	0.000
IM _{weight} - Reached weight	1.000
IM _{sf} - Reached safety fact	2.740

(a) Tiang Bor Joint 8

Reached values	
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.04268
ForceX - Reached total for	0.000 kN/m
ForceY - Reached total for	0.000 kN/m
Pmax - Reached max pp	146.1 kN/m ²
IM _{stage} - Reached phase p	0.000
IM _{weight} - Reached weight	1.000
IM _{sf} - Reached safety fact	3.774

(b) Tiang Bor Joint 12

Gambar 15. Hasil Analisis PLAXIS 2D SF Fondasi

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis, perancangan, dan pembahasan mengenai perbandingan fondasi alternatif tiang pancang dan tiang bor, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis penurunan menunjukkan bahwa fondasi tiang pancang pada kedalaman 24 m mengalami penurunan sebesar 3,864 cm pada Joint 8 dan 4,261 cm pada Joint 12, sedangkan pada kedalaman 20 m sebesar 9,724 cm dan 9,163 cm. Fondasi tiang bor menghasilkan penurunan sebesar 4,868 cm pada Joint 8 dan 2,708 cm pada Joint 12. Seluruh nilai penurunan masih memenuhi batas penurunan izin berdasarkan SNI 8460:2017.
2. Seluruh alternatif fondasi memenuhi persyaratan kapasitas daya dukung, faktor keamanan, dan penurunan. Pada kondisi tanpa lapisan lensa tanah keras, fondasi tiang pancang *spun pile* dan tiang bor sama-sama layak digunakan. Namun, apabila terdapat lapisan lensa tanah keras yang menghambat proses pemancangan, fondasi tiang bor lebih sesuai karena mampu mencapai kedalaman rencana 24 m.
3. Berdasarkan hasil pemodelan PLAXIS 2D fondasi tiang bor diameter 0,6 m didapatkan nilai penurunan sebesar

5,8 cm dengan SF 2,7 pada joint 8 dan 3,7 cm dengan SF 3,8 pada joint 12.

Daftar Pustaka

- [1] M. D. Khomaeni, "Analisis Perbandingan Pondasi Tiang Pancang Dengan Pondasi Tiang Bor Pada Proyek Pembangunan Ruko 3 Tingkat", 2020.
- [2] M. D. Irsyad, "Perencanaan Ulang Struktur Bawah Dengan Menggunakan Pondasi Bored Pile Pada Gedung Dakwah Muhammadiyah Singosari Skripsi", 2021.
- [3] V. A. Septory, R. Rochmawati, и Irianto, "Analisis Pondasi Bored Pile Dengan Variasi Diameter Pada Proyek Rumah Sakit Bhayangkara Menggunakan Software GEO5", *Anal. Pondasi Bored Pile Dengan Variasi Diam. Pada Proy. Rumah Sakit Bhayangkara Menggunakan Softw. Geo5*, с-ци 417–432, 2023.
- [4] SNI 8460, „Persyaratan Perancangan Geoteknik“, *Standar Nas. Indones.*, том 8460, с-ци 1–323, 2017.
- [5] SNI 2847, „SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung“, 2019.
- [6] SNI 1727, „SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain“, 2020.
- [7] SNI 1726, „SNI 1726:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung“, *Sni 1726-20*, бр 8, с-ци 1–254, 2019.
- [8] H. C. Hardiyatmo, *Analisis dan Perancangan Fondasi II*, Edisi Ke 2. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2011.