

Analisis penurunan 1-dimensi fondasi tiang pancang pada bangunan Gedung Tower Pendidikan di Surabaya

Muhammad Rafi' Nur Rahman^{1,*}, Muhammad Irfan Marasabessy¹

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

Article Info

Available online

Keywords:

Immediate settlement
Consolidation settlement
Pile foundation

Corresponding Author:

Muhammad Rafi' Nur
Rahman
22511094@students.uii.ac.id

Abstract

The construction of high-rise educational buildings in Surabaya requires reliable foundation design, particularly under soft soil conditions, to ensure safety and serviceability performance. This study evaluates the settlement behavior of a pile foundation system supporting an Educational Tower Building in Surabaya based on total settlement and differential settlement analyses in accordance with SNI 8460:2017. A one-dimensional (1D) settlement analysis was conducted using secondary soil investigation data, including Standard Penetration Test (SPT) results, to determine soil parameters. Total settlement was calculated as the sum of immediate, primary consolidation, and secondary consolidation settlements, while differential settlement was evaluated through angular distortion along selected building sections. The results indicate that the average and maximum total settlements, 154.058 mm and 241.106 mm respectively, are below the allowable limit of 305 mm, satisfying the serviceability requirements for total settlement. However, the angular distortion analysis shows that several foundation segments exceed the serviceability limit of 1/300 specified in SNI 8460:2017. Despite this, most values remain within the damage threshold of 1/150, with only one point exceeding this limit. Therefore, although the pile foundation system does not fully meet the serviceability criteria for differential settlement, it is considered structurally safe against severe soil deformation.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar belakang

Pembangunan Gedung bertingkat tinggi di Kawasan perkotaan terus meningkat seiring dengan kebutuhan fasilitas pendidikan yang memadai Simalango dkk. (2021). Kota Surabaya sebagai salah satu pusat Pendidikan di Indonesia yang mengalami perkembangan signifikan dalam pembangunan gedung pendidikan bertingkat tinggi (*high-rise building*). Pembangunan gedung tinggi tersebut menuntut perencanaan struktur dan fondasi yang andal terutama dalam menjamin aspek keamanan dan kenyamanan bangunan selama masa layan Lukita dkk. (2021).

Dalam perencanaan fondasi gedung bertingkat, salah satu kriteria yang harus

diperhatikan adalah batas penurunan izin (*allowable settlement*), yang mana hal ini untuk mencegah terjadinya penurunan yang tidak seragam (*differential settlement*). Perbedaan penurunan dapat menyebabkan kerusakan struktur maupun non-struktural serta menurunkan kinerja bangunan Apriani & Dwicahyani (2019). Oleh karena itu, analisis penurunan fondasi menjadi bagian penting dalam perencanaan gedung bertingkat sesuai dengan SNI 8460:2017 Badan Standarisasi Nasional (2017) terutama pada bangunan pendidikan yang memiliki faktor keutamaan tinggi sesuai SNI 1726:2019 Badan Standarisasi Nasional (2019).

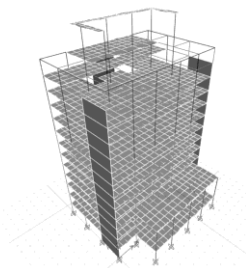
Permasalahan

Lokasi pembangunan gedung pendidikan bertingkat di Surabaya umumnya berada pada kondisi tanah lunak (*soft soil*) dengan daya dukung rendah dan tingkat kemampatan yang tinggi. Kondisi tanah pada lokasi penelitian ditunjukkan pada Tabel 1 berdasarkan data hasil uji *Standard Penetration Test* (N-SPT), yang memperlihatkan nilai N-SPT relatif rendah pada beberapa lapisan tanah sehingga mengindikasikan dominasi tanah lunak. Bangunan yang dianalisis merupakan gedung pendidikan bertingkat tinggi dengan beban struktur yang besar, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 sampai Gambar 3 yang menampilkan model tiga dimensi dan potongan bangunan. Kombinasi antara kondisi tanah lunak dan beban bangunan yang besar tersebut meningkatkan risiko terjadinya penurunan yang diakibatkan oleh kondisi

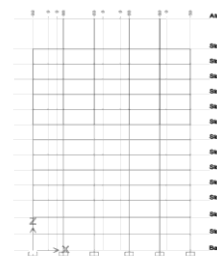
elastik maupun konsolidasi. Akumulasi dari penurunan tersebut dapat menyebabkan terjadinya perbedaan penurunan (*differential settlement*). Perbedaan penurunan yang melebihi batas yang diizinkan dapat berpotensi mengganggu fungsi bangunan serta menurunkan tingkat keselamatan dan kenyamanan pengguna Maulana Hakim (2022).

Tabel 1. Nilai N-SPT

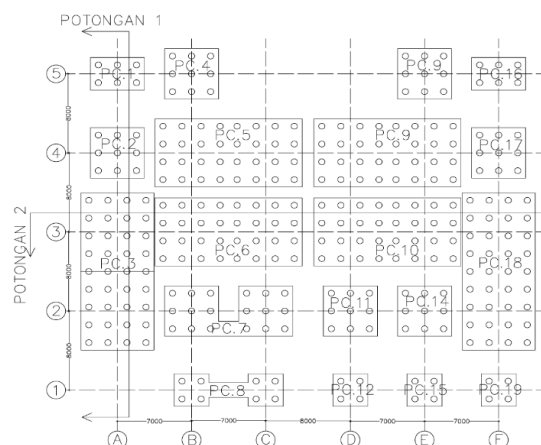
Kedalaman	Jenis Tanah	N-SPT
0,00 – 1,00	Tanah urukan	
1,00 – 13,00	Lempung sangat lunak	<1
13,00 – 15,50	Lempung lunak	3
15,00 – 18,00	Lempung kaku	9
20,50 – 23,00	Lempung sangat kaku	17
23,00 – 25,50	Lempung keras	35
25,50 – 35,50	Lempung sangat kaku	24
35,50 – 38,00	Pasir padat	51
38,00 – 40,50	Pasir sangat padat	60



Gambar 1. Model 3 dimensi



Gambar 2. Potongan bangunan gedung



Gambar 3. Kodefikasi denah tipikal *pilecap* yang ditinjau

Reserch gap

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas analisis penurunan fondasi tiang

pancang pada bangunan bertingkat di atas tanah lunak dengan menggunakan berbagai metode analisis, namun sebagian besar kajian

tersebut menerapkan pendekatan numerik dengan metode tiga dimensi seperti yang telah dilakukan Irsyad dkk. (2024) dan Al Fatah dkk. (2021). Pendekatan satu dimensi, seperti yang dikembangkan oleh Terzaghi, memiliki kelebihan berupa kesederhanaan perhitungan, kemudahan penerapan, serta kebutuhan data yang relatif lebih sedikit, sehingga lebih praktis digunakan pada tahap perencanaan awal fondasi dibandingkan metode numerik berdimensi lebih tinggi Terzaghi & Peck Ralph B (1967). Selain itu, kajian mengenai pengaruh karakteristik tanah lunak khas Surabaya, seperti variasi lapisan tanah dan muka air tanah yang dangkal, terhadap potensi penurunan diferensial pada bangunan pendidikan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan penelitian tersebut.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penurunan fondasi tiang pancang menggunakan metode 1-dimensi pada bangunan Gedung Tower Pendidikan di Surabaya. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya penurunan total dan perbedaan penurunan (*differential settlement*) yang terjadi pada struktur fondasi di atas tanah sangat lunak.

Landasan Teori

Daya dukung tiang pancang

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah dalam menahan beban yang diteruskan oleh struktur bangunan di atasnya. Perhitungan daya dukung terdiri dari dua bagian, yakni daya dukung ujung tanah dan daya dukung selimut fondasi Rahman dkk. (2025). Dalam penelitian ini, perhitungan daya dukung akan dilakukan menggunakan Metode Decourt (1995) dalam Wijaya dkk. (2023) pada Pers. (1) – (4) berikut

$$Q_p = q_p \cdot A_p \quad (1)$$

$$q_p = K_b \cdot \bar{N}_b \quad (2)$$

$$Q_s = q_s \cdot p \cdot L \quad (3)$$

$$q_s = \alpha (2,8 N_{60} + 10) \quad (4)$$

dengan,

Q_p = Daya dukung ujung tiang tunggal (ton)

A_p = Luas penampang dasar tiang (m^2)

K_b = Koefisien tanah dasar menurut Decourt, 0,325 ; tiang bor & pancang di tanah pasir. 0,1 ; tiang pancang di tanah lempung. 0,08 ; tiang bor di tanah lempung).

$\bar{N}_b$ = Nilai N – SPT rata-rata 10D dan 4D dibawah tiang

Q_s = Daya dukung selimut (ton)

p = Keliling tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

α = 1 ; tiang pancang, tiang bor di tanah lempung. 0,5 – 0,6 ; tiang bor di tanah pasir.

Penurunan segera tiang tunggal

Penurunan segera pada fondasi dipengaruhi oleh dimensi fondasi, besar beban bangunan, dan karakteristik tanah, yang menyebabkan deformasi elastis tanah dan berkontribusi terhadap penurunan.. Penurunan tanah total merupakan penambahan tiga komponen perubahan, yaitu penurunan akibat deformasi aksial tiang tunggal, penurunan ujung tiang, dan penurunan tiang akibat beban yang tersalur sepanjang tiang Das (1995). Perhitungan penurunan segera atau penurunan elastis pada tiang tunggal dapat dihitung dengan metode Vesic (1977) menggunakan Pers. (5) – (8) berikut.

$$Se = Se_{(1)} + Se_{(2)} + Se_{(3)} \quad (5)$$

$$Se_{(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi \times Q_{ws}) \times L}{A_p \times E_p} \quad (6)$$

$$Se_{(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu^2) \times I_{wp} \quad (7)$$

$$Se_{(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{p L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu^2) \times I_{ws} \quad (8)$$

dengan,

Se = Total penurunan tiang pancang (mm)

$Se_{(1)}$ = Penurunan elastis tiang pancang (mm)

- $Se_{(2)}$ = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban pada ujung tiang pancang (mm)
- $Se_{(3)}$ = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban yang ada pada kulit tiang (mm)
- Q_{wp} = Kapasitas dukung ujung tiang (ton)
- Q_{ws} = Kapasitas dukung selimut tiang (ton)
- ξ = faktor empiris tipe variasi distribusi tahanan selimut tiang (0,5 – 0,67)
- L = Panjang tiang (m)
- A_p = Luas penampang tiang (m²)
- Ep = Modulus elastis bahan tiang (ton/m²)
- D = Diameter tiang pancang (m)
- q_{wp} = Beban titik per satuan luasan, Q_{wp} / A_p
- E_s = Modulus elastis tanah (Tabel 1)
- μ = Poisson rasio tanah (Tabel 2)
- I_{wp} = Faktor pengaruh, 0,85
- P = Keliling tiang pancang (m)
- I_{ws} = Faktor pengaruh, $2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}}$

Tabel 1. Perkiraan Modulus Elastis Tanah (Es)

Tipe	Kondisi	Modulus Elastis (kN/m ²)
Kerikil	Longgar	25.000 - 50.000
	Kepadatan sedang	50.000 – 100.000
	Padat	100.000 – 200.000
Pasir butiran	Sangat longgar	<5.000
	Longgar	3.000 – 10.000
	Kepadatan sedang	8.000 – 30.000
sedang sampai kasar	Padat	25.000 – 50.000
	Sangat Padat	40.000 – 100.000
	Longgar	5.000 – 10.000
Pasir halus	Kepadatan sedang	10.000 – 25.000
	Padat	25.000 – 50.000
	Lunak	<10.000
Lanau	Kaku	10.000 – 20.000
	Keras	> 20.000
	Sangat lunak	<3.000
Lempung	Lunak	2.000 – 7.000
	Sedang	5.000 – 12.000
	Kaku	10.000 – 25.000
	Sangat kaku	20.000 – 50.000
	Keras	40.000 – 80.000

(Hardiyatmo, 2014 dalam Putri, 2024)

Tabel 2. Perkiraan Poisson Rasio (μ)

Jenis Tanah	Poisson Rasio (μ)
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar	0,15
Pasir halus	0,25
Batu	0,1 – 0,4
Loess	0,1 – 0,1

(Hardiyatmo, 2014 dalam Putri, 2024)

Penurunan kelompok tiang

Nilai penurunan fondasi tiang kelompok menggunakan Pers. (9) berikut

$$S_g = Se \sqrt{\frac{B}{D}} \quad (9)$$

dengan,

S_g = Penurunan kelompok tiang (mm)

S = Total penurunan tiang pancang (mm)

B = Lebar kelompok tiang (mm)

D = Diameter tiang pancang (mm)

Penurunan konsolidasi

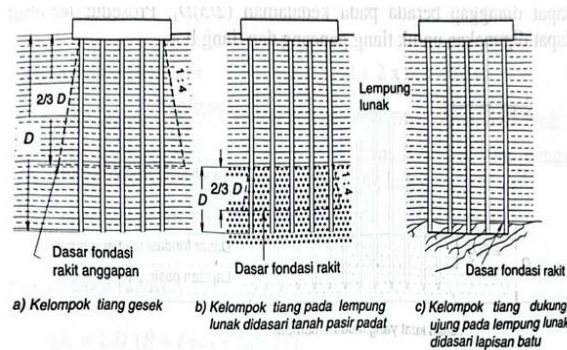
Penurunan konsolidasi merupakan penurunan yang berlangsung seiring waktu akibat disipasi tekanan air pori berlebih pada tanah jenuh, terutama tanah lempung, setelah diberi beban, yang mengakibatkan pemampatan tanah.. konsolidasi primer dapat dihitung dengan berdasarkan Pers. (10)

$$Sc = \frac{Cc}{1-e_0} H \log \frac{\Delta P + P_0}{P_0} \quad (10)$$

P_0 = Tekanan yang dirasakan di tengah – tengah lapisan tanah lempung akibat berat tanah di atasnya,

ΔP = Tekanan yang dirasakan di tengah – tengah lapisan tanah lempung akibat muatan tambahan (muatan fondasi).

Pada perhitungan penurunan konsolidasi sebelumnya dihitung terlebih dahulu distribusi beban pada kelompok tiang. Untuk gambar distribusi beban dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Distribusi beban kelompok tiang
(Hardiyatmo, 2010)

beban yang didistribusikan ke kelompok tiang dapat dihitung berdasarkan Pers. (11)

$$\Delta P = \frac{1}{6} \times (\Delta P_{\text{top}} + 4 \Delta P_{\text{middle}} + \Delta P_{\text{bottom}}) \quad (11)$$

Penurunan total

Menurut Badan Standarisasi Nasional (2017) tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, penurunan fondasi yang terjadi harus dibatasi agar tidak melebihi penurunan izin yang ditetapkan. Suatu sistem fondasi dinyatakan memenuhi persyaratan kinerja apabila nilai penurunan total (*total settlement*) sebagaimana Pers. 13 harus lebih kecil atau sama dengan penurunan izin (*allowable settlement*), yang dinyatakan dengan Pers. 12 berikut:

$$S_{\text{total}} \leq S_{\text{izin}} \quad (12)$$

dengan,

S_{total} = Penurunan total fondasi (mm)

S_{izin} = Penurunan total izin fondasi (mm)

Penurunan total (*total settlement*) didefinisikan sebagai besarnya perpindahan vertikal maksimum yang dialami oleh bangunan atau fondasi akibat pembebanan struktur terhadap tanah pendukungnya. Penurunan total merupakan hasil akumulasi dari penurunan segera (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi primer, serta penurunan konsolidasi sekunder yang berlangsung selama umur layanan bangunan Terzaghi & Peck Ralph B (1967). Penurunan total mencerminkan respons deformasi tanah secara menyeluruh akibat beban yang bekerja dan merupakan salah satu parameter utama

dalam evaluasi kinerja serta keamanan fondasi, khususnya pada kondisi tanah lunak Hardiyatmo (2010). Secara umum, penurunan total dapat dinyatakan dengan Pers. 13 berikut

$$S_{\text{total}} = S_g + S_c + S_s \quad (13)$$

dengan:

S_g = Penurunan kelompok tiang (mm)
 S_c = penurunan konsolidasi primer (mm)
 S_s = penurunan konsolidasi sekunder (mm)

Penurunan izin (S_{izin}) ditetapkan sebagai batas maksimum penurunan fondasi yang masih dapat diterima tanpa menimbulkan kerusakan struktural maupun gangguan fungsi bangunan. Dalam penelitian ini, kriteria penurunan izin dinyatakan dengan Pers. 14 berikut

$$S_{\text{izin}} < 15 \text{ cm} + \frac{B}{600} \quad (14)$$

dengan,

B = Lebar bangunan (cm)

Perbedaan penurunan

Perbedaan penurunan (*differential settlement*) terjadi apabila besarnya penurunan pada setiap titik fondasi tidak sama, sehingga membentuk profil penurunan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pada kondisi penurunan tanpa kemiringan (*settlement without tilt*), penurunan maksimum terjadi di bagian tengah struktur sementara kedua ujung mengalami penurunan yang relatif sama, sehingga tidak menimbulkan rotasi bangunan. Sebaliknya, pada kondisi penurunan dengan kemiringan (*settlement with tilt*), perbedaan penurunan antara dua titik ujung struktur menyebabkan terjadinya sudut kemiringan atau rotasi bangunan, yang berpotensi menimbulkan retak dan gangguan fungsi struktur.

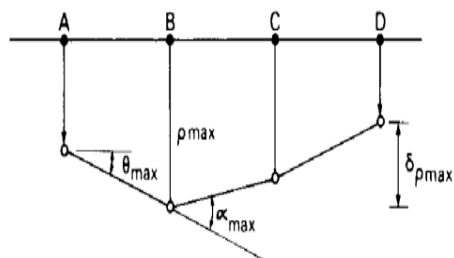
Untuk mengendalikan perbedaan penurunan, dilakukan evaluasi terhadap distorsi sudut (*angular distortion*), yaitu perbandingan antara selisih penurunan pada dua titik pengamatan dengan jarak horizontal di antaranya, yang dinyatakan dengan Pers. 15

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{\Delta s}{L} \leq \frac{1}{300} \\ \tan \theta &= \frac{1}{300} \\ \theta &= \tan^{-1} \frac{1}{300}\end{aligned}\quad (15)$$

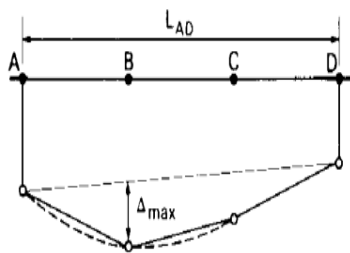
dengan,

Δs = selisih penurunan dua titik fondasi (mm)

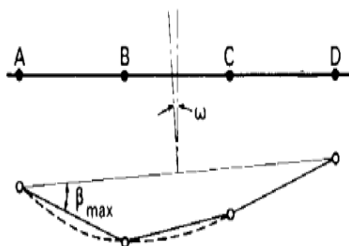
L = jarak horizontal antara dua titik tersebut (mm)



(a) Definitions of settlement p , relative settlement δp , rotation θ and angular strain α



(b) Definitions of relative deflection Δ and deflection ratio Δ/L

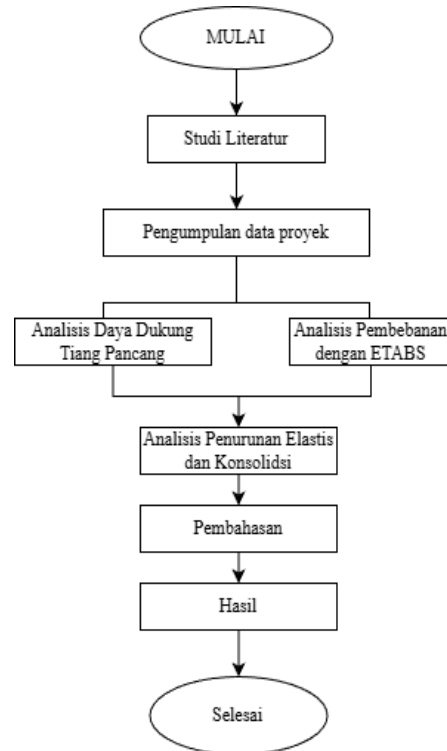


(c) Definitions of tilt ω and relative rotation (angular distortion) β

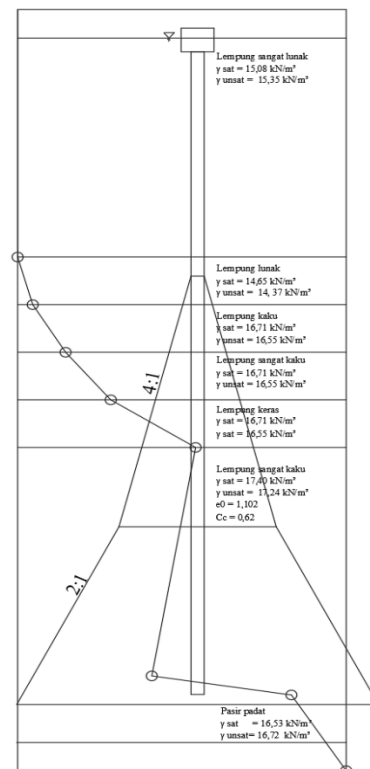
Gambar 5. Ilustrasi perbedaan penurunan

(Burland dkk., 1977)

Metode Penelitian



Gambar 5. Bagan alir penelitian



Gambar 7. Sketsa distribusi penurunan

Analisis dan Pembahasan

Perhitungan daya dukung tiang pancang

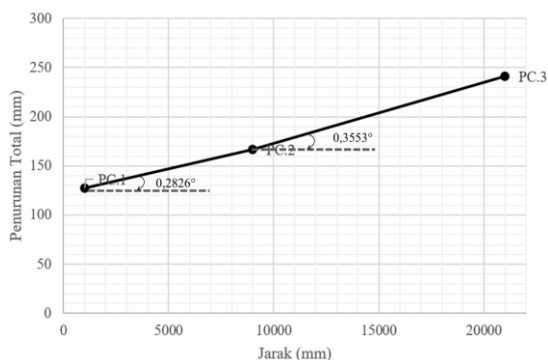
Perhitungan daya dukung ujung dan selimut pada tiang pancang dilakukan dengan metode Decourt (1995). Didapatkan hasil perhitungan daya dukung ujung tiang pancang sebesar 1160,131 kN dan daya dukung selimut tiang sebesar 1073,239 kN.

Perhitungan penurunan

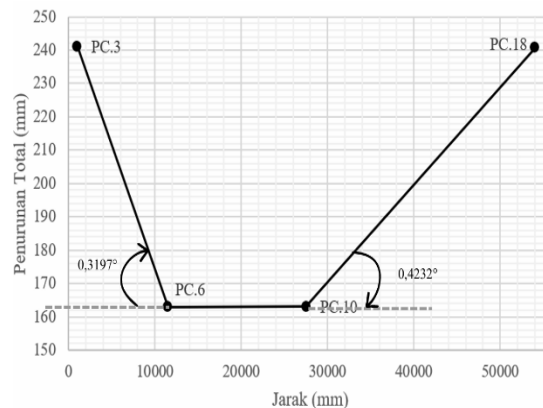
Tabel 3. Hasil Perhitungan Penurunan

Kode Pilecap	Sg (mm)	Sc (mm)	St (mm)
PC.1	103.145	24.090	127.235
PC.2	128.226	38.466	166.693
PC.3	149.148	91.958	241.106
PC.4	128.226	26.052	154.278
PC.5	149.148	23.736	172.884
PC.6	149.148	13.836	162.984
PC.7	128.226	22.029	150.255
PC.8	103.145	5.339	108.484
PC.9	149.148	15.693	164.841
PC.10	149.148	13.978	163.126
PC.11	128.226	23.326	151.553
PC.12	103.145	10.397	113.542
PC.13	128.226	26.005	154.232
PC.14	128.226	27.002	155.229
PC.15	103.145	9.898	113.043
PC.16	103.145	24.063	127.208
PC.17	128.226	21.938	150.165
PC.18	149.148	91.537	240.685
PC.19	103.145	6.405	109.550

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, disusun grafik penurunan pada Potongan 1 dan Potongan 2 untuk meninjau terjadinya perbedaan penurunan (*differential settlement*). Grafik profil penurunan tersebut disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Grafik profil penurunan potongan 1 (arah Y)



Gambar 9. Grafik profil penurunan potongan 2 (arah X)

Dari Gambar 8 dan Gambar 9 dapat dilakukan perhitungan sudut perbedaan penurunan (*angular distortion*) pada setiap titik pondasi. Berdasarkan Pers 14 hasil perbedaan penurunan dapat dilihat pada Tabel berikut

Berdasarkan Gambar 8, dapat dilihat bahwa perbedaan penurunan antar titik fondasi menunjukkan variasi sudut yang cukup signifikan. Pada segmen PC.1–PC.2 terbentuk sudut sebesar 0,2826°, sedangkan pada segmen PC.2–PC.3 sudut yang terbentuk sebesar 0,3553°. Perbedaan nilai sudut ini menunjukkan bahwa penurunan fondasi tidak terjadi secara seragam, di mana peningkatan sudut pada segmen PC.2–PC.3 mengindikasikan adanya perubahan gradien penurunan yang lebih besar seiring bertambahnya jarak antar titik fondasi dan kemungkinan perbedaan beban struktur yang bekerja.

Selanjutnya, berdasarkan Gambar 9, terlihat bahwa sudut perbedaan penurunan yang terbentuk pada segmen PC.3–PC.6 sebesar 0,3197°, sedangkan pada segmen PC.10–PC.18 mencapai 0,4232°. Nilai sudut yang relatif lebih besar pada segmen PC.10–PC.18 menunjukkan adanya ketidakseragaman penurunan yang lebih dominan pada bagian tersebut, yang diduga dipengaruhi oleh perbedaan distribusi beban struktur dan kondisi tanah setempat. Secara umum, hasil ini menegaskan bahwa variasi beban pada setiap titik fondasi berpengaruh langsung terhadap besarnya perbedaan penurunan yang terjadi, sehingga beberapa segmen

menunjukkan sudut yang melampaui batas izin servisabilitas meskipun secara keseluruhan struktur masih berada dalam batas kerusakan yang dapat ditoleransi.

Tabel 4. Hasil perhitungan perbedaan penurunan

	Kode <i>Pilecap</i>	Δs (mm)	L (mm)	θ (°)
Potongan 1	PC.1 – PC.2	39,457	8000	0,2826
	PC.2 – PC.3	74,413	12000	0,3553
Potongan 2	PC.3 – PC.6	78,121	10500	0,3197
	PC.6 – PC.10	0.141	15000	0,0005
	PC.10 – PC.18	77,559	10500	0,4232

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengevaluasi perilaku penurunan fondasi pada bangunan Tower Pendidikan di Surabaya berdasarkan analisis penurunan total dan perbedaan penurunan (*differential settlement*). Evaluasi dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik tanah setempat serta respons deformasi tanah akibat pembebanan struktur, sehingga diperoleh gambaran yang komprehensif mengenai kinerja fondasi selama umur layan bangunan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai penurunan total rata-rata dan penurunan total maksimum yang terjadi masih berada di bawah batas penurunan izin yang ditetapkan. Dengan demikian, berdasarkan ketentuan SNI 8460:2017 Badan Standarisasi Nasional (2017) tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, sistem fondasi yang direncanakan telah memenuhi persyaratan kinerja dari aspek penurunan total (*total settlement*). Hal ini menunjukkan bahwa fondasi mampu menahan beban struktur tanpa menimbulkan deformasi berlebihan yang dapat mengganggu fungsi dan kenyamanan bangunan.

Selain itu, hasil evaluasi terhadap perbedaan penurunan (*differential settlement*) menunjukkan bahwa tidak seluruh nilai sudut perbedaan penurunan (*angular distortion*) memenuhi batas izin servisabilitas SNI 8460:2017 Badan Standarisasi Nasional (2017), yaitu 1/300. Beberapa segmen fondasi menunjukkan nilai sudut yang melampaui batas tersebut, yang mengindikasikan bahwa

penurunan tidak sepenuhnya terjadi secara seragam. Kondisi ini dipengaruhi oleh perbedaan distribusi beban pada masing-masing titik fondasi serta respons tanah terhadap pembebanan struktur. Meskipun demikian, sebagian besar nilai sudut perbedaan penurunan masih berada dalam batas kerusakan (1/150), meskipun terdapat satu titik yang teridentifikasi melebihi batas tersebut, sehingga secara umum struktur belum menunjukkan indikasi kerusakan signifikan pada tahap analisis ini.

Berdasarkan hasil evaluasi penurunan total dan perbedaan penurunan tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem fondasi bangunan Tower Pendidikan di Surabaya memenuhi persyaratan kinerja terhadap penurunan total, namun belum sepenuhnya memenuhi kriteria servisabilitas SNI pada aspek perbedaan penurunan. Walaupun demikian, dari sudut pandang keamanan terhadap kerusakan struktural, sistem fondasi masih berada dalam kondisi yang dapat ditoleransi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam perencanaan dan evaluasi fondasi bangunan bertingkat pada kondisi tanah lunak, sekaligus menekankan pentingnya pengendalian dan evaluasi perbedaan penurunan dalam desain fondasi.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melanjutkan analisis penurunan fondasi dengan menggunakan pendekatan dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D), karena metode 1-dimensi (1D) yang digunakan dalam

penelitian ini masih bersifat konservatif. Pendekatan 2D dan 3D diharapkan mampu merepresentasikan kondisi interaksi tanah–struktur dan distribusi beban secara lebih realistis. Analisis tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak geoteknik berbasis elemen hingga, seperti PLAXIS 2D, PLAXIS 3D, dan Settle3D.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada pihak PT. Pola Data Konsultan atas izin dan bantuan dalam penyediaan data lapangan. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan ilmu teknik sipil, khususnya di bidang geoteknik dan perencanaan pondasi.

Daftar Pustaka

- Al Fatah, R. M., Nurtjahjaningtyas, I., & Putra, P. P. (2021). Analisis Pondasi Tiang Pancang Dengan Variasi Diameter Dan Kedalaman Menggunakan Program 3d Berbasis Fem. Dalam Jurnal Aplikasi Teknik Sipil (Vol. 19, Nomor 1).
- Apriani, D. W., & Dwicahyani, A. (2019). Prediksi Penurunan Tanah Timbunan Studi Kasus Pembangunan Rumah Susun Sewa Intitut Teknologi Kalimantan.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). Sni 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik. www.bsn.go.id
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). Sni 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
- Burland, J. B., Broms, B. B., & De Mello, V. F. B. (1977). Behaviour Of Foundations And Structures.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis).
- Hardiyatmo, H. C. (2010). Analisis Dan Perancangan Fondasi Ii.
- Irsyad, A., Arief, F., & Nurdin, S. (2024). Perencanaan Dan Analisis Interaksi Antara Fondasi Tiang Pancang Dan Tanah Lunak Pada Perencanaan Gedung Auditorium Iain Palu Dengan Metode Elemen Hingga.
- Lukita, K., Asniar, N., & Noor Annisa, A. R. (2021). Analisa Daya Dukung Dan Penurunan Elastis Pondasi Tiang Pancang Gedung Creative Center Tasikmalaya.
- Maulana Hakim, A. (2022). Evaluasi Perilaku Penurunan Tanah Pada Konstruksi Bangunan Crusher Plant Di Maloko.
- Putri, B. H. S. G. (2024). Analisis Penurunan Pondasi Tiang Pancang Pada Pembangunan Jembatan Meninting Menggunakan Metode Analitis Dan Metode Numerik.
- Rahman, M. R., Pertiwi, D. K., & Marasabessy, M. I. (2025). Evaluasi Kapasitas Aksial Tekan Tiang Bor Berdasarkan Data Spt Dan Slt : Studi Kasus Gedung Rumah Sakit Klaten (Vol. 5, Nomor 1).
- Simalango, S. P., Purba, A., & Sawito, K. (2021). Studi Perencanaan Pondasi Sumuran Pada Pembangunan Gedung Bertingkat Tinggi (Perbandingan Antara Pondasi Tiang Pancang Dan Pondasi Sumuran).
- Terzaghi, K., & Peck Ralph B. (1967). Soil Mechanics In Engineering Practice.
- Vesic. (1977). Design Of Pile Fondation.
- Wijaya, J. L., Wijaya, H., & Yuwono, A. (2023). Analisis Perbandingan Penurunan Terhadap Daya Dukung Fondasi Tiang Pada Tanah Ekspansif Di Karawang Jawa Barat (Vol. 6, Nomor 4).