REKAYASA
Journal of Science and Technology
https://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa

REKAYASA 19(1): 2026 pp.200-209
ISSN: 0216-9495 (Print)
ISSN: 2502-5325 (Online)

Optimasi Kedalaman Tiang Bor untuk Memenuhi Kinerja Daya Dukung dan Deformasi pada Kondisi Ketidaksempurnaan Lubang Pengeboran

Alivia Wulan Yufika[1)], Dian Purnamawati Solin[2*)], Karina Meilawati Eka Putri[3)]
[1,2,3] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

DOI: https://doi.org/10.21107/rekayasa.v19i1.34223

Submitted October, 7th 2025, Accepted May, 17th 2026, Published June, 20th 2026

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja fondasi tiang bor pada kondisi ketidaksempurnaan lubang pengeboran yang menyebabkan pengurangan kedalaman tiang dari 38 m menjadi 30 m. Penelitian ini dilakukan untuk memberikan evaluasi antara kapasitas aksial, kapasitas lateral, serta deformasi fondasi pada kondisi ketidaksempurnaan lubang pengeboran, sekaligus merekomendasikan langkah optimasi yang sesuai dengan kondisi lapangan. Analisis dilakukan terhadap kapasitas daya dukung aksial menggunakan metode Reese & Wright (1977), kapasitas daya dukung lateral menggunakan metode Broms (1964), serta deformasi berupa penurunan aksial dan defleksi lateral menggunakan pendekatan numerik berbasis kurva t–z dan p–y. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung aksial menurun dari 1287,629 ton menjadi 1006,807 ton atau sebesar 21,81% akibat berkurangnya kontribusi tahanan selimut. Pada analisis lateral, diperoleh kapasitas ultimit sebesar 150,28 kN dengan metode analitis dan 161,4 kN dengan pendekatan numerik, yang menunjukkan bahwa pendekatan numerik memberikan hasil yang lebih rinci. Dari sisi deformasi, penurunan aksial meningkat dari 8 mm menjadi 14 mm, sedangkan defleksi lateral meningkat dari 56 mm menjadi 65 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ketidaksempurnaan lubang pengeboran berpengaruh signifikan terhadap penurunan kapasitas dan peningkatan deformasi fondasi. Oleh karena itu, diperlukan upaya optimasi berupa penambahan kedalaman tiang serta penggunaan casing permanen hingga ujung fondasi untuk memastikan kinerja fondasi tetap memenuhi persyaratan teknis.

Kata kunci : aksial, defleksi, lateral, optimasi desain, penurunan, kurva p-y, kurva t-z

Abstract

This study aims to analyze the performance of bored pile foundations under the condition of drilling hole imperfections that cause a reduction in pile depth from 38 m to 30 m. This research was conducted to provide an evaluation of the axial capacity, lateral capacity, and foundation deformation under conditions of drilling hole imperfections, while also recommending optimization steps that are appropriate to field conditions. The analysis was conducted on the axial bearing capacity using the Reese & Wright (1977) method, the lateral load capacity using the Broms (1964) method, and the deformation in the form of axial settlement and lateral deflection using a numerical approach based on t–z, q–z, and p–y curves. The analysis results show that the axial load capacity decreased from 1162 kN to 869 kN or by 25.21% due to the reduced contribution of skin friction. In the lateral analysis, an ultimate capacity of 150.28 kN was obtained using the analytical method and 161.4 kN using the numerical approach, indicating that the numerical approach provided more detailed results. From the deformation aspect, the axial settlement increased from 8 mm to 14 mm, while the lateral deflection increased from 56 mm to 65 mm. The results indicate that the imperfections in the drilling hole significantly affect the reduction in capacity and the increase in foundation deformation. Therefore, optimization efforts are needed in the form of increasing the depth of the piles and using permanent casing up to the end of the foundation to ensure that the foundation's performance continues to meet technical requirements.

***Keyword** : axial Load, deflection, design optimization, lateral, settlement, p-y curve, t-z curve*

© 2026 Authors

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan tol di Jawa Timur merupakan bagian dari strategi nasional dalam meningkatkan konektivitas antarwilayah serta mendorong pertumbuhan ekonomi regional. Dalam sistem tersebut, struktur jembatan memiliki peranan penting karena berfungsi sebagai penghubung utama pada kondisi topografi tertentu, seperti melintasi sungai atau lembah. Oleh karena itu, keandalan struktur jembatan sangat bergantung pada kinerja sistem fondasi yang digunakan. Salah satu jenis fondasi yang umum diterapkan adalah fondasi tiang bor (*bored pile*), yang memiliki kemampuan untuk mentransfer beban ke lapisan tanah yang lebih dalam dan relatif stabil (Elsakhawy et al., 2024). Penggunaan fondasi ini juga dinilai efektif pada kondisi tanah dengan daya dukung rendah serta variasi stratigrafi yang kompleks (Junaidi et al., 2024; Tahismasari et al., 2024).

Fondasi tiang bor dirancang untuk mampu menahan beban aksial maupun lateral secara bersamaan. Daya dukung aksial diperoleh dari kombinasi tahanan ujung (*end bearing*) dan tahanan selimut (*shaft resistance*), yang sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah dan metode pelaksanaan konstruksi (Cesaro et al., 2025). Selain itu, fondasi juga harus mampu menahan beban lateral yang berasal dari tekanan tanah dan beban eksternal lainnya (Hutabarat et al., 2023; Darmawan et al., 2023). Evaluasi kinerja fondasi tidak hanya terbatas pada kapasitas ultimit, tetapi juga harus mempertimbangkan aspek deformasi seperti penurunan dan defleksi lateral yang berkaitan dengan kriteria serviceability limit state (El Gendy, 2025).

Dalam pelaksanaan konstruksi, permasalahan geoteknik yang sering dijumpai adalah ketidaksempurnaan lubang pengeboran akibat runtuhnya dinding lubang, terutama pada kondisi tanah yang tidak stabil seperti lanau berpasir atau tanah jenuh air. Ketidaksempurnaan ini dapat menyebabkan perubahan geometri tiang yang direncanakan, termasuk berkurangnya kedalaman efektif tiang. Penelitian menunjukkan bahwa cacat pada tiang bor, seperti necking, runtuhan lubang, dan kontaminasi lumpur, dapat menurunkan kapasitas daya dukung secara signifikan serta mempengaruhi integritas fondasi (Yao et al., 2024). Selain itu, kondisi tersebut juga dapat mengganggu distribusi tegangan di sekitar tiang sehingga berdampak pada respons lateral dan peningkatan deformasi (Kurniawan et al., 2023; Wang et al., 2022).

Pada kondisi aktual di lapangan, ketidaksempurnaan lubang pengeboran dapat menyebabkan perbedaan antara kondisi desain dan kondisi terpasang. Sebagai contoh, kedalaman tiang yang direncanakan mencapai 38 m dapat berkurang menjadi sekitar 30 m akibat runtuhnya dinding lubang selama proses pengeboran. Kondisi ini menyebabkan berkurangnya kontribusi tahanan selimut dan tahanan ujung secara bersamaan, sehingga kapasitas aksial tiang menurun. Selain itu, perubahan kondisi tanah di sekitar tiang juga dapat mempengaruhi respons lateral karena interaksi tanah–tiang menjadi tidak optimal (Nguyen et al., 2024). Hal ini berpotensi meningkatkan defleksi lateral dan menyebabkan fondasi tidak memenuhi batas deformasi yang diizinkan (Yogaswara & Riyantini, 2025).

Seiring dengan perkembangan teknologi analisis geoteknik, pendekatan numerik semakin banyak digunakan untuk mengevaluasi perilaku fondasi secara lebih realistis. Pendekatan ini memungkinkan pemodelan interaksi tanah–tiang secara nonlinier melalui kurva p–y untuk analisis lateral serta kurva t–z dan q–z untuk analisis aksial. Penggunaan metode ini dinilai mampu memberikan hasil yang lebih akurat dalam memprediksi kapasitas dan deformasi fondasi, terutama pada kondisi tanah berlapis dan kondisi konstruksi yang tidak ideal (Siregar et al., 2024). Selain itu, kombinasi antara metode analitis dan numerik juga direkomendasikan untuk meningkatkan keandalan hasil analisis (Kusumawardana & Fajarwati, 2025).

Meskipun berbagai penelitian telah membahas kapasitas daya dukung dan deformasi fondasi tiang bor, sebagian besar studi masih mengasumsikan kondisi tiang yang ideal sesuai dengan desain awal. Penelitian yang secara khusus mengevaluasi pengaruh ketidaksempurnaan lubang pengeboran terhadap kinerja fondasi, terutama dalam bentuk berkurangnya kedalaman efektif tiang, masih relatif terbatas. Selain itu, kajian yang mengintegrasikan analisis daya dukung aksial, daya dukung lateral, serta deformasi dalam satu kerangka evaluasi yang komprehensif juga belum banyak dilakukan, khususnya pada kondisi lapangan di Indonesia.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan (*novelty*) berupa analisis terintegrasi terhadap kinerja fondasi tiang bor pada kondisi ketidaksempurnaan lubang pengeboran dengan mempertimbangkan aspek kapasitas dan deformasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya

dukung aksial menggunakan metode Reese & Wright, daya dukung lateral menggunakan metode Broms, serta deformasi berupa penurunan dan defleksi lateral menggunakan pendekatan numerik berbasis interaksi tanah dengan tiang. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi upaya optimasi berupa penambahan kedalaman tiang dan penggunaan casing permanen hingga ujung fondasi guna memastikan bahwa kinerja fondasi tetap memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh kondisi lapangan terhadap kinerja fondasi tiang bor serta memberikan kontribusi dalam pengembangan metode evaluasi dan optimasi desain fondasi yang lebih adaptif terhadap kondisi aktual di lapangan.

METODE PENELITIAN

Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari hasil investigasi geoteknik dan dokumen perencanaan fondasi. Data tanah yang digunakan meliputi hasil uji lapangan berupa *Standard Penetration Test* (SPT) serta parameter tanah yang terdiri dari berat isi tanah (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (φ). Selain itu, digunakan pula data geometri fondasi tiang bor yang mencakup diameter tiang sebesar 1,5 m dan panjang tiang rencana sebesar 38 m dengan *freestanding* 18 m. Data pembebanan yang dianalisis meliputi beban aksial dan lateral yang bekerja pada fondasi sesuai dengan kondisi desain. Parameter tanah untuk penelitian ditunjukkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data *Standard Penetration Test* dan Parameter Tanah

Lapisan	Kedalaman (m)	N-SPT	Deskripsi
1	0-1	0	Pasir Kasar
2	1-2	12	Lanau Berpasir
3	2-3	14	Lanau Berpasir
4	3-4	16	Lanau Berpasir
5	4-5	21	Lanau Berpasir
6	5-6	25	Pasir Padat
7	6-7	44	Pasir Padat
8	7-8	62	Pasir Padat
9	8-9	53	Pasir Padat
10	9-10	43	Lanau Berpasir
11	10-11	36	Lanau Berpasir
12	11-14	28	Lanau Berpasir
13	14-16	28	Pasir Berlanau
14	16-46	60	Pasir Padat

Sumber: Dokumen Proyek, 2025

Koreksi Nilai *Standard Penetration Test*

Nilai *Standard Penetration Test* (SPT) yang diperoleh dari hasil uji lapangan perlu dikoreksi untuk mendapatkan nilai yang lebih representatif terhadap kondisi tanah sebenarnya. Koreksi dilakukan terhadap beberapa faktor, antara lain *hammer efficiency*, diameter lubang bor, panjang batang bor, kondisi *overburden*, serta koreksi terhadap muka air tanah.

Nilai hasil koreksi dinyatakan sebagai nilai N_{60}, yang dihitung dengan persamaan:

$$N_{60} = \frac{EH \; x \; CB \; x \; CS \; x \; CR \; x \; N}{0{,}6} \quad \text{..... (1)}$$

Dimana:

EH = *hammer efficiency*
CB = koreksi diameter lubang bor
CS = koreksi jenis *sampler*
CR = koreksi panjang batang bor
N = N-SPT

Selanjutnya, dilakukan koreksi terhadap tekanan *overburden* untuk memperoleh nilai $(N1)_{60}$, dengan persamaan:

$$(N1)_{60} = CN \times N_{60} < 2N_{60} \quad (2)$$

Dimana:

CN = faktor koreksi *overburden pressure*

N60 = nilai SPT terkoreksi untuk Prosedur Lapangan

Untuk menghitungan CN menggunakan rumus berikut:

$$CN = \sqrt{\frac{100}{\sigma'_0}} \quad (3)$$

Dimana:

σ'_0 = tegangan *overburden* efektif vertikal awal

Pada tanah berbutir kasar, khususnya pasir halus hingga pasir jenuh, nilai SPT yang diperoleh di bawah muka air tanah perlu dikoreksi untuk menghindari pengaruh *dilatancy* yang dapat menyebabkan nilai pukulan menjadi lebih tinggi dari kondisi sebenarnya.

Koreksi dilakukan apabila nilai N60>15, dengan menggunakan persamaan:

$$(N1)_{60\,(CORR)} = 15 + \frac{1}{2} \times [(N1)_{60} - 15] \quad (4)$$

Dimana:

$(N1)_{60\,(CORR)}$ = koreksi nilai SPT untuk muka air tanah

$(N1)_{60}$ = nilai SPT terkoreksi untuk tekanan beban berlebih

Analisis Kapasitas Daya Dukung Aksial Tiang Bor

Kapasitas daya dukung aksial tiang bor dalam penelitian ini dianalisis menggunakan metode Reese & Wright (1977), yang memperhitungkan kontribusi tahanan ujung (*end bearing*) dan tahanan selimut (*skin friction*) berdasarkan parameter tanah dan kondisi interaksi tanah dengan tiang. Daya dukung aksial ultimit tiang bor dihitung sebagai berikut:

$$Qu = Qp + Qs \quad (5)$$

Dimana:

Qp = kapasitas daya dukung ujung tiang tunggal (ton)

Qs = kapasitas daya dukung selimut tiang tunggal (ton)

Perhitungan kapasitas daya dukung ujung tiang tunggal ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$Qp = (\frac{1}{4} \times \pi \times D) \times (7N) \quad (6)$$

Dimana:

Qp = kapasitas daya dukung ujung tiang tunggal (ton)

D = diameter tiang (m)

N = nilai N-SPT pakai rata-rata dari dasar tiang

Daya Dukung Selimut Tiang Tunggal dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Qs = (\pi \times D \times L) \times (0{,}32N) \quad (7)$$

Dimana:

Qs = daya dukung selimut tiang tunggal (ton)

D = diameter tiang (m)

L = panjang tiang (m)

N = nilai N-SPT pakai pada selimut tiang

Analisis Kapasitas Daya Dukung Lateral Tiang Bor

Kapasitas daya dukung lateral tiang bor dalam penelitian ini dianalisis menggunakan metode Broms (1964), yang didasarkan pada pendekatan batas aman maksimum untuk menentukan kapasitas ultimit tiang terhadap pembebanan lateral berdasarkan karakteristik tanah dan kondisi batas tiang. Daya dukung lateral ultimit tiang bor dihitung sebagai berikut:

Menentukan koefisien tekanan tanah pasif (Kp) ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$Kp = \tan^2(45 + \frac{\varphi}{2}) \quad (8)$$

Dimana:

Kp = koefisien tekanan tanah pasif

φ = sudut geser dalam tanah (^{0})

Untuk menghitung beban lateral ultimit pada tiang bor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Hu = (\frac{3}{2})\gamma \times d \times Kp \times f^2 \quad (9)$$

Dimana:

Hu = beban lateral ultimit (kN)

Kp = koefisien tekanan tanah pasif

D = diameter tiang bor (m)

f = faktor kedalaman panjang tertanam tiang ≈ 1m (asumsi)

Menentukan momen maksimum (M_{max}) yang terjadi pada tiang akibat beban lateral ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$Mmax = Hu\left(e + \frac{2f}{3}\right) \quad (10)$$

Dimana:

Mmax = momen lentur maksimum pada tiang (kN·m)

Hu = beban lateral ultimit (kN)

e = panjang *freestanding* (m)

f = faktor kedalaman panjang tertanam tiang

Untuk analisis lateral, selain pendekatan analitis seperti metode Broms, digunakan juga pendekatan numerik berupa kurva p-y untuk memperoleh gambaran respons tiang yang lebih representatif terhadap kondisi aktual di lapangan. Pendekatan ini menggunakan kurva p–y, yaitu hubungan antara reaksi tanah per satuan panjang tiang (p) dan defleksi lateral tiang (y). Melalui hubungan ini, interaksi antara tanah dan tiang dapat dimodelkan secara bertahap, mulai dari kondisi elastis hingga nonlinier ketika tanah mulai mengalami plastis. Dengan demikian, pendekatan ini mampu menggambarkan respons tanah dengan tiang secara lebih realistis, termasuk distribusi defleksi, momen, dan gaya dalam sepanjang tiang akibat pembebanan lateral (*Federal Highway Administration*, 2018).

Analisis Penurunan Aksial dan Defleksi Lateral pada Tiang Bor

Analisis deformasi tiang bor dilakukan menggunakan pendekatan numerik untuk memperoleh respons fondasi yang lebih representatif terhadap kondisi aktual di lapangan. Pendekatan ini didasarkan pada konsep interaksi tanah dengan tiang nonlinier melalui kurva p–y untuk respons lateral serta kurva t–z dan q–z untuk respons aksial, sehingga memungkinkan evaluasi perilaku penurunan dan defleksi lateral secara menyeluruh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koreksi Nilai *Standard Penetration Test*

Berdasarkan hasil koreksi nilai *Standard Penetration Test* (SPT) yang meliputi faktor energi, diameter lubang bor, panjang batang bor, serta koreksi terhadap tekanan *overburden* dan pengaruh muka air tanah, diperoleh nilai SPT yang lebih representatif terhadap kondisi tanah di lapangan. Hasil koreksi tersebut ditunjukkan pada tabel 2.

Analisis Kapasitas Daya Dukung Aksial Tiang Bor

Hasil analisis daya dukung aksial tiang bor dilakukan dengan menggunakan metode Reese & Wright (1977), yang mempertimbangkan kontribusi tahanan ujung dan tahanan selimut ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 2. Koreksi Nilai *Standard Penetration Test*

Lapisan	Kedalaman (m)	N-SPT	N_{corr}
1	0-1	0	0,00
2	1-2	12	14,00
3	2-3	14	16,33
4	3-4	16	18,67
5	4-5	21	24,50
6	5-6	25	26,51
7	6-7	44	39,16
8	7-8	62	50,40
9	8-9	53	42,89
10	9-10	43	50,17
11	10-11	36	42,00
12	11-14	28	32,67
13	14-16	28	22,74
14	16-46	60	38,77

Sumber: Penulis, 2026

Tabel 3. Kapasitas daya dukung aksial tiang bor

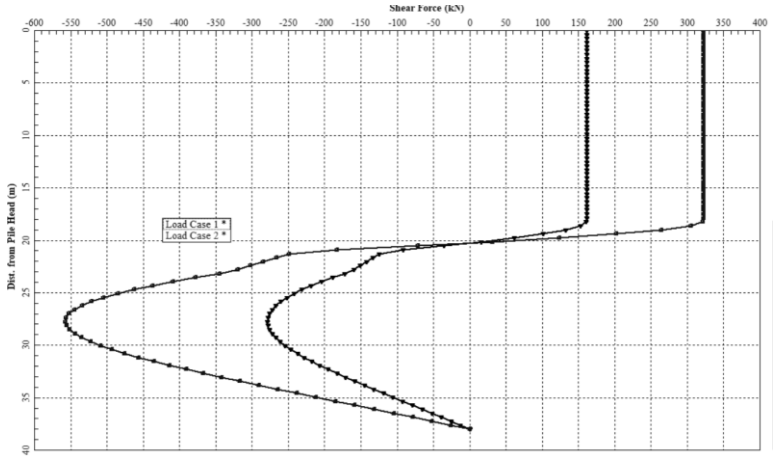
Panjang tiang (m)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qu (ton)
30	273,99	595,82	1006,807
38	251,05	911,05	1287,629

Sumber: Penulis, 2026

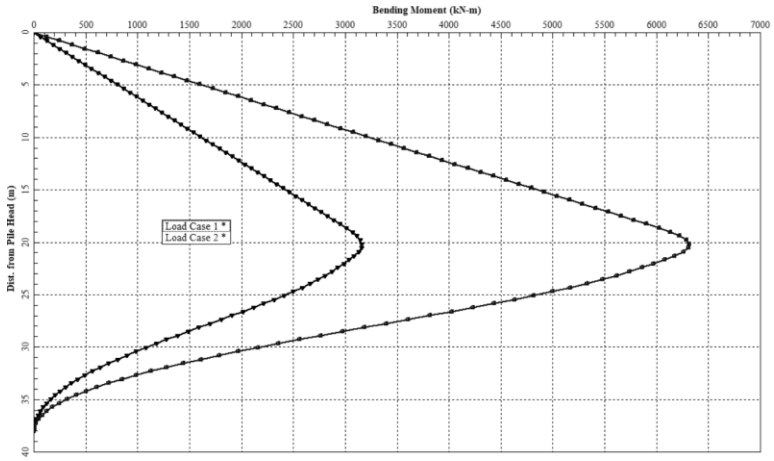
Perbandingan antara kondisi rencana dan kondisi aktual menunjukkan adanya selisih kapasitas sebesar 21,81 %, yang mengindikasikan bahwa ketidaksempurnaan lubang pengeboran memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap kinerja aksial fondasi. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa gangguan pada dinding lubang bor dapat menurunkan kapasitas daya dukung akibat perubahan kondisi tanah di sekitar tiang (Yao et al., 2024).

Analisis Kapasitas Daya Dukung Lateral Tiang Bor

Analisis daya dukung lateral dilakukan menggunakan metode Broms (1964) dengan pendekatan analitis dan pendekatan numerik berbasis kurva p–y untuk memperoleh respons yang lebih detail. Grafik hasil analisis beban lateral dan momen maksimum tiang bor tunggal dengan kurva p-y ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1. Beban lateral ultimit tiang bor tunggal dengan kurva p-y
(Sumber: Penulis, 2026)



Gambar 2. Momen maksimum tiang bor tunggal dengan kurva p-y
(Sumber: Penulis, 2026)

Hasil perbandingan pendekatan analitis dan pendekatan numerik berbasis kurva p–y ditunjukkan pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Kapasitas daya dukung lateral tiang bor

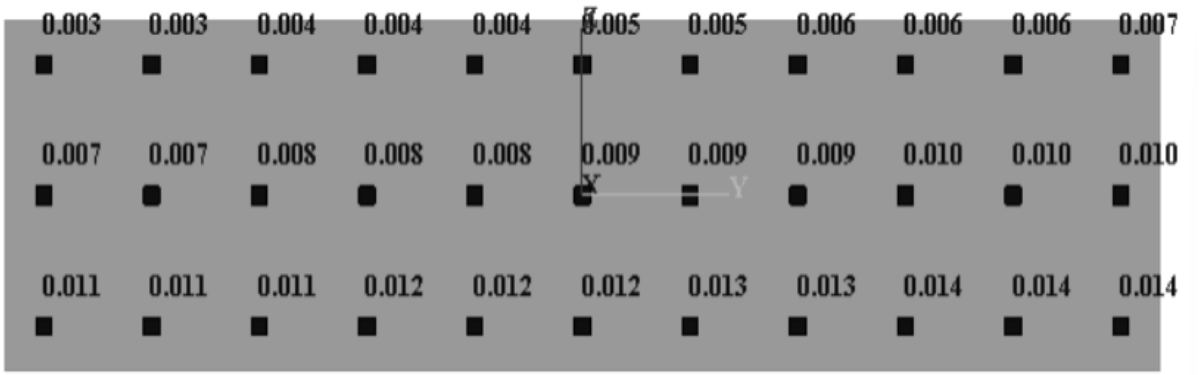
Metode	Kp	Hu (kN)	Mmax (kN.m)
Analitis	3,98	156,28	2917,18
Numerik		161,4	3158

Sumber: Penulis, 2026

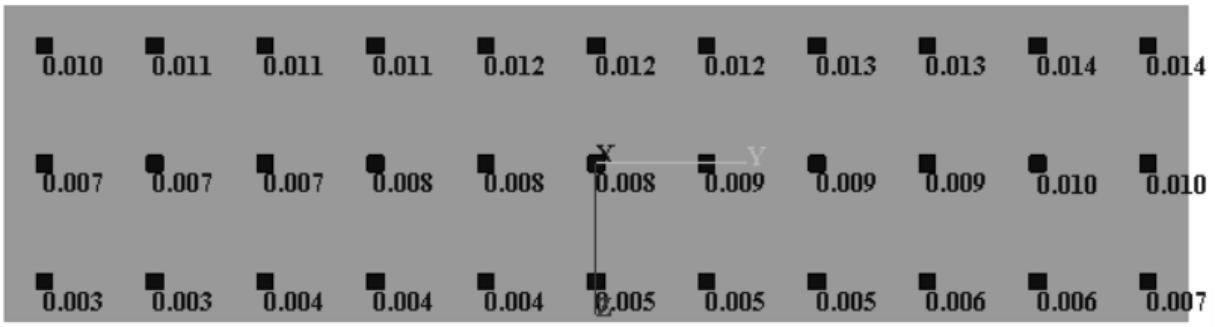
Perbedaan hasil antara metode analitis dan numerik menunjukkan bahwa pendekatan numerik memberikan gambaran yang lebih rinci terhadap perilaku tiang, terutama dalam hal distribusi defleksi dan momen sepanjang tiang. Hal ini sesuai dengan penelitian (Nguyen et al., 2024) yang menyatakan bahwa pendekatan kurva p–y mampu merepresentasikan respons tanah–tiang secara lebih realistis dibandingkan metode analitis sederhana.

Analisis Penurunan Aksial dan Defleksi Lateral pada Tiang Bor

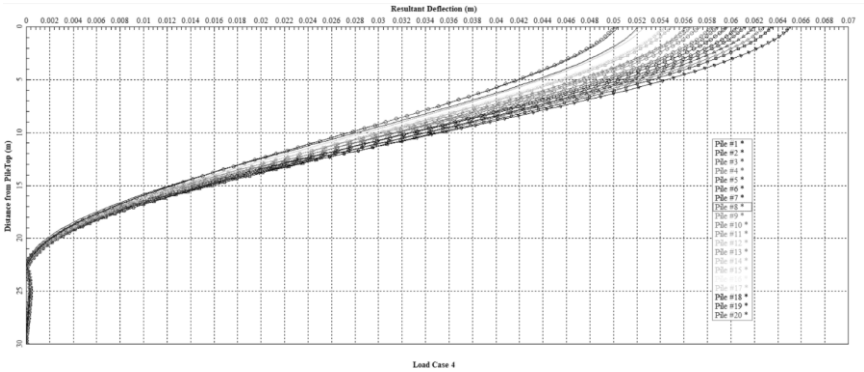
Analisis deformasi fondasi dilakukan untuk mengevaluasi kinerja tiang bor terhadap pembebanan aksial dan lateral, khususnya dalam memenuhi kriteria batas layanan (*serviceability*). Hasil analisis penurunan dan defleksi tiang bor tunggal dengan kurva p-y ditunjukkan pada gambar berikut.



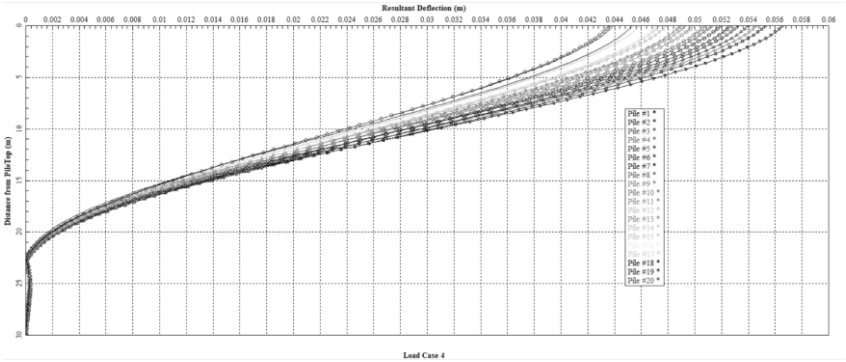
Gambar 3. Penurunan maksimum pada tiang panjang 30 m
(Sumber: Penulis, 2026)



Gambar 4. Penurunan maksimum pada tiang panjang 38 m
(Sumber: Penulis, 2026)



Gambar 5. Defleksi maksimum pada tiang panjang 30 m
(Sumber: Penulis, 2026)



Gambar 6. Defleksi maksimum pada tiang panjang 38 m
(Sumber: Penulis, 2026)

Hasil perbandingan analisis penurunan dan defleksi tiang bor disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil deformasi tiang bor menggunakan metode pendekatan numerik

Panjang Tiang (m)	Penurunan (mm)	Defleksi (mm)
30	14	65
38	8	56

Sumber: Penulis, 2026

Berdasarkan hasil analisis, peningkatan penurunan pada kondisi tanah terganggu menunjukkan berkurangnya kontribusi tahanan selimut (*t–z*) sehingga beban lebih banyak dialihkan ke ujung tiang (*q–z*) yang memerlukan deformasi lebih besar (Reese & O'Neill, 1988). Meskipun demikian, penurunan yang terjadi masih memenuhi batas yang digunakan, yaitu di bawah 15 cm + b/600 sesuai *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 2007). Respons lateral juga

meningkat akibat penurunan kekakuan sistem tanah dengan tiang, namun tetap berada dalam batas yang diizinkan, yaitu tidak melebihi 10% diameter (*Federal Highway Administration*, 2018).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa ketidaksempurnaan lubang pengeboran memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja tiang bor. Pada kondisi rencana dengan panjang tiang 38 m, kapasitas daya dukung aksial ultimit sebesar 1162 kN, sedangkan pada kondisi aktual dengan panjang efektif 30 m menurun menjadi 869 kN. Penurunan sebesar 25,21% ini terutama disebabkan oleh berkurangnya kontribusi tahanan selimut akibat berkurangnya bidang kontak antara tiang dan tanah. Pada analisis lateral, metode Broms menghasilkan kapasitas ultimit sebesar 150,28 kN dengan momen maksimum 2917,19 kN, sedangkan pendekatan numerik berbasis kurva p–y menghasilkan kapasitas sebesar 161,4 kN dan momen maksimum 3158 kN. Perbedaan ini menunjukkan bahwa pendekatan numerik mampu memberikan representasi perilaku tanah dengan tiang yang lebih detail dibandingkan metode analitis. Selain itu, kondisi aktual menunjukkan peningkatan deformasi yang cukup signifikan. Penurunan aksial pada panjang tiang 30 m sebesar 14 lebih besar dibandingkan kondisi rencana pada panjang 38 m sebesar 8, sedangkan defleksi lateral juga meningkat dari 56 menjadi 65. Meskipun deformasi pada kondisi tanah terganggu masih berada di bawah batas yang diizinkan, upaya optimasi tetap diperlukan karena adanya tren peningkatan deformasi yang mengindikasikan penurunan kekakuan dan kualitas interaksi tanah dengan tiang. Kondisi ini berpotensi berkembang lebih lanjut akibat pengaruh beban berulang, variasi kondisi tanah, maupun ketidakpastian pelaksanaan di lapangan.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar pelaksanaan pengeboran tiang bor dilakukan dengan pengendalian kualitas yang lebih ketat, terutama pada kondisi tanah yang rawan longsor seperti pasir. Optimasi melalui penambahan kedalaman tiang dilakukan untuk meningkatkan kontribusi tahanan ujung serta memperbesar interaksi dengan lapisan tanah yang lebih stabil, sehingga kapasitas dan kekakuan sistem fondasi dapat meningkat. Sementara itu, penggunaan casing permanen hingga ujung fondasi dapat menjadi langkah preventif untuk menjaga kestabilan dinding lubang selama proses pengeboran, sehingga kedalaman dan kapasitas daya dukung fondasi tetap sesuai dengan perencanaan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan variasi metode analisis yang lebih beragam serta mempertimbangkan pengaruh kondisi tanah non-homogen dan beban siklik terhadap perilaku tiang bor.

DAFTAR PUSTAKA

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2007). AASHTO LRFD bridge design specifications: SI units (4th ed.). AASHTO.

Cesaro, G., et al. (2025). Axial behavior of bored piles considering soil–pile interaction. Acta Geotechnica. https://doi.org/10.1007/s11440-025-02860-z

Darmawan, A., Arifin, S., Haza, Z. F., & Sutrisno, W. (2023). Analisis daya dukung tiang kelompok pondasi bored pile dengan metode analitis dan numeris. Renovasi: Rekayasa dan Inovasi Teknik Sipil. https://jurnal.ustjogja.ac.id/index.php/renovasi/article/view/14430

Darmiyanti, L., Prima, Y., & Aldianto, M. A. (2023). Analisis borepile menggunakan metode Meyyerhoff dan Reese Wright. Jurnal Sipil Krisna, 9(1), 27-38. https://doi.org/10.61488/sipilkrisna.v9i1.249

Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). Erlangga, Jakarta.

El Gendy, M. (2025). Evaluation of settlement behavior of deep foundations under service loads. Geotechnical and Geological Engineering. https://doi.org/10.1007/s10706-025-03397-4

Elsakhawy, E., et al. (2024). Behavior of bored piles under different soil conditions. Buildings, 14(8). https://doi.org/10.3390/buildings14082268

Federal Highway Administration. (2018). *Design and analysis of laterally loaded deep foundations* (Geotechnical Engineering Circular No. 009, FHWA-NHI-18-031). U.S. Department of Transportation.

Hardiyatmo, H. C. (2010). Analisis dan Perancangan FONDASI bagian II. Gadja Mada University press, Yogyakarta.

Hutabarat, R., Siregar, M., & Lubis, H. (2023). Analisis daya dukung lateral bored pile menggunakan metode analitis. Jurnal Teknik Sipil. https://www.researchgate.net/publication/383373928

Junaidi, J., Supriyadi, S., Larasati, N., & Wira Satya Utama, C. A. S. (2024). Kajian daya dukung pondasi bored pile berdasarkan data N-SPT dan PDA test. Bangun Rekaprima, 10(1). https://doi.org/10.32497/bangunrekaprima.v10i1.5491

Kurniawan, A., et al. (2023). Analisis pengaruh kondisi tanah terhadap deformasi lateral tiang bor. Jurnal Teknik Sipil.

Nguyen, T. T., Tran, Q. H., & Pham, D. T. (2024). Numerical analysis of laterally loaded piles using p–y curves. International Journal of Geotechnical Engineering. https://doi.org/10.1080/19386362.2024.2437459

Reese, L. C., & O'Neill, M. W. (1988). *Drilled shafts: Construction procedures and design methods*. Federal Highway Administration.

Tahismasari, S., Darmiyanti, L., & Rodji, A. P. (2024). Analisis daya dukung dan penurunan pondasi bored pile berdasarkan data SPT. Jurnal Basement, 2(2). https://doi.org/10.36873/basement.v2i2.15193

Wang, J., et al. (2022). Effect of construction defects on pile performance in soft soils. Soils and Foundations. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2022.101188

Yao, Y., Liu, X., & Chen, Z. (2024). Influence of construction defects on the bearing capacity of bored piles. Frontiers in Built Environment. https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1337986

Yogaswara, D., & Riyantini, R. (2025). Quality control of bored pile foundation using PDA and PIT test. Jurnal Teknik Sipil, 21(1). https://doi.org/10.28932/jts.v21i1.7345