

Analisis Perbandingan Penurunan Pondasi Tiang Bor berdasarkan Data Tes Aksial dengan Data Perhitungan pada BP03 P064 Elevated STA 55+551 Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2B

Andini Chaerania¹⁾, Ahmad Yusuf Habibur Rouf²⁾, Nugroho Utomo³⁾

^{1,2)} Mahasiswa Fakultas Teknik UPN Veteran Jawa Timur

³⁾ Dosen Fakultas Teknik UPN Veteran Jawa Timur

e-mail: 21035010055@student.upnjatim.ac.id¹⁾, 21035010065@student.upnjatim.ac.id²⁾,
nugroho.ts@upnjatim.ac.id³⁾

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan antara hasil tes aksial dan perhitungan manual penurunan pondasi tiang bor pada proyek P64 Elevated STA 55+551 dalam pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2B. Penurunan pondasi tiang bor dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk sifat tanah, kedalaman tiang, dan metode pelaksanaan. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai penurunan ini sangat diperlukan. Salah satu cara untuk menganalisis penurunan tiang pondasi adalah melalui tes aksial, di mana beban diterapkan pada tiang untuk mengukur responsnya. Pengujian aksial yang dilakukan pada BP03 titik P064 STA 55+551 diperoleh sebesar 1,76 mm, sedangkan perhitungan manual menggunakan metode semi empiris menghasilkan nilai penurunan sebesar 1,7709 mm. Analisis rasio perbedaan menunjukkan deviasi sebesar 0,61%, yang menandakan kesesuaian yang tinggi antara hasil tes dan perhitungan. Sehingga dapat dibuktikan bahwa dimensi serta kedalaman pondasi tiang bor yang digunakan pada titik P64 STA 55 + 551 terbilang aman. Meskipun terdapat perbedaan yang kecil, hasil penelitian ini meninjau pentingnya validasi metode perhitungan dengan data lapangan untuk meningkatkan keandalan desain pondasi.

Kata Kunci: Pondasi, Penurunan, Tes aksial, Semi Empiris

Abstract

This research aims to analyze the comparison between axial test results and manual calculations of settlement for bored pile foundations at the P64 Elevated STA 55+551 in the construction of the Solo-Yogyakarta-NYIA Kulon Progo Toll Road Section 2 Package 2.2B. The settlement of bored pile foundations can be influenced by various factors, including soil properties, pile depth, and execution methods. Therefore, a deep understanding of this settlement is essential. One way to analyze the settlement of pile foundations is through axial testing, where a load is applied to the pile to measure its response. The axial test conducted at BP03 point P064 STA 55+551 yielded a settlement of 1.76 mm, while manual calculations using a semi-empirical method resulted in a settlement value of 1.7709 mm. The analysis of the difference ratio shows a deviation of 0.61%, indicating a high level of agreement between the test results and calculations. This demonstrates that the dimensions and depth of the bored pile foundation used at point P64 STA 55+551 are considered safe. Despite the small difference, this study underscores the importance of validating calculation methods with field data to enhance the reliability of foundation designs.

Keywords: Foundation, Derivation, Axial Test, Semi Empirical

1. Pendahuluan

Pondasi merupakan salah satu elemen penting dalam suatu struktur bangunan, berfungsi untuk mendistribusikan beban dari struktur ke tanah [1]. Di antara berbagai jenis pondasi, pondasi tiang bor (*bored pile*) sering dipilih karena kemampuannya untuk menahan beban yang tinggi dan kemudahan dalam penempatannya di lokasi yang terbatas. Namun, untuk memastikan keamanan dan kestabilan struktur, penting untuk melakukan analisis yang tepat terhadap perilaku pondasi tiang bor, terutama dalam hal penurunan yang terjadi akibat beban yang diterima.

Penurunan pondasi tiang bor dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk sifat tanah, kedalaman tiang, dan metode pelaksanaan. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai penurunan ini sangat diperlukan. Salah satu cara untuk menganalisis penurunan adalah melalui tes aksial, di mana beban diterapkan pada tiang untuk mengukur responsnya. Data yang diperoleh dari tes ini memberikan informasi langsung mengenai kapasitas dukung dan penurunan tiang.

Jurnal ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan antara penurunan pondasi tiang bor berdasarkan data tes aksial dengan data perhitungan semi empiris. Dengan melakukan analisis ini, diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih baik mengenai akurasi metode perhitungan serta faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan pondasi tiang bor. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam merancang pondasi yang lebih efektif dan efisien, serta meningkatkan pemahaman tentang perilaku pondasi tiang bor dalam kondisi nyata [2] [3].

Penelitian ini menggunakan metode analisis perbandingan antara penurunan pondasi tiang bor yang diperoleh dari data tes aksial dan hasil perhitungan menggunakan rumus semi empiris Vesic (1977). Fokus utama penelitian adalah untuk mengevaluasi akurasi metode perhitungan terhadap data aktual yang didapat dari tes aksial [4].

Analisis penurunan pondasi *bored pile* sangat penting untuk memastikan keamanan

bangunan. Dengan memahami perbedaan antara hasil perhitungan manual dan tes aksial, dapat mengantisipasi dengan lebih baik potensi masalah yang mungkin timbul selama masa pakai struktur. Ini mendukung tujuan SDGs 9 dan SDGs 11 untuk membangun infrastruktur yang tangguh dan berkelanjutan.

2. Metodologi Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi pada P64 elevated STA 55+551 pada proyek pembangunan jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2. Lokasi penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1.1** berikut.



Gambar 1.1 Lokasi penelitian P64 STA 55+552

Sumber: Google Earth

Pengumpulan Data

Data yang diperoleh adalah data detail bored pile pada titik P64 serta data aktual berupa tes aksial dan data SPT tanah pada titik P64. Data dimensi bored pile, data aktual tes aksial *bored pile* dan data SPT pada titik P64 disajikan di **Tabel 1.1** berikut.

Tabel 1.1 Data Dimensi, Aktual dan SPT Titik P64

Data Bored pile	
Diameter Bored pile (D)	= 1,2 m
Panjang Bored pile (L)	= 28 m
F'c	= 30 Mpa

Hasil pembacaan tes aksial P64 BP.03 STA 55 + 551			
Pembacaan pembebanan 200% akhir penurunan		= 1,76 mm	
Data SPT (BH-100)			
Kedalaman	N-SPT	Kedalaman	N-SPT
0	0	15	36
1	18	17	32
3	12	19	31
5	50	21	27
7	20	23	50
9	50	25	50
11	27	27	50
13	36	28	50

Sumber: Dokumen PT Adhi Karya Persero Tbk.

Kapasitas Daya Dukung Pondasi Berdasarkan N-SPT

Perhitungan daya dukung ultimate (Q_u) menggunakan Meyerhoff yang rumusnya mempertimbangkan kohesi tanah, tekanan efektif, dan faktor daya dukung [5]. Rumus umumnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q_{ult} = 40 \times N_b \times A_p + 0,2 \times N \times A_s$$

Keterangan:

Q_{ult} = Daya dukung ultimate pondasi tiang (kN)

N_b = Nilai SPT pada elevasi dasar tiang

N = Nilai N-SPT rata-rata

A_p = Luas penampang dasar tiang (m^2)
 $= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$

A_s = Luas selimut tiang (m^2)
 $= 3,14 \times D \times L$

Penurunan Pondasi

Istilah penurunan (*settlement*) digunakan untuk menunjukkan sebuah Gerakan pada titik tertentu bangunan terhadap titik referensi yang tetap. *Settlement* terjadi akibat terbebannya lapisan tanah sehingga tanah mengalami perubahan susunan maupun pengurangan rongga pori atau air sehingga terjadilah regangan yang membuat tanah perlahan bergerak turun [6] [7]. Rumus penurunan tiang pondasi semi empiris Vesic (1977) sebagai berikut:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

Keterangan:

S = Penurunan tiang total (mm)

S_1 = Penurunan batang tiang (mm)

S_2 = Penurunan tiang akibat beban titik (mm)

S_3 = Penurunan tiang akibat beban yang tersalur sepanjang batang (mm)

Penurunan Batang Tiang (S_1)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan penurunan batang tiang (S_1) adalah berikut:

$$S_1 = \frac{(Q_p + \zeta Q_s)L}{A_p E_p}$$

Keterangan:

Q_p = Beban yang dipikul ujung tiang dibawah kondisi beban kerja (kN)

$$= 40 \times N_b \times A_p$$

Q_s = Beban yang dipikul kulit tiang dibawah kondisi beban kerja (kN)

$$= 0,2 \times N \times A_s$$

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

E_p = Modulus Young bahan tiang
 $= 4700\sqrt{f'c}$

L = Panjang tiang (m)

ζ = Tegangan Geser
= 0,67 (tanah butir / berpasir)

Penurunan Tiang Akibat Beban Titik (S2)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan penurunan tiang akibat beban titik (S2) adalah sebagai berikut:

$$S_2 = \frac{Q_p \times C_p}{D \times q_p}$$

Keterangan:

Q_p = Beban yang dipikul ujung tiang dibawah kondisi beban kerja (kN)

q_p = Tahanan ujung batas tiang (kN)
= $q_c \times A_p$

C_p = Koefisien empiris

D = Diameter pondasi (m)

Penentuan Penurunan Tiang Akibat Beban yang Tersalur Sepanjang Batang (S3)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan penurunan tiang akibat beban yang tersalur sepanjang batang (S3) adalah sebagai berikut:

$$S_3 = \frac{Q_s \times C_s}{L \times q_p}$$

Keterangan:

Q_s = Beban yang dipikul ujung tiang dibawah kondisi beban kerja (kN)

C_s = Sebuah konstanta empiris

$$= \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) C_p$$

q_p = Tahanan ujung batas tiang (kN)

L = Panjang tiang (m)

Penentuan Nilai C_p

Nilai – nilai C_p dari berbagai jenis tanah disajikan di **Tabel 1.2** berikut:

Tabel 1.2 Nilai C_p Berbagai Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir (padat ke lepas)	0,02 – 0,04	0,09 – 0,18
Lempung (kaku ke lunak)	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
Lanau (padat ke lepas)	0,03 – 0,05	0,09 – 0,12

Sumber: Metode Vesic 1977 dalam Das 2004: 527

Penentuan Rasio Perbedaan

Untuk mengetahui nilai deviasi perbedaan dari data aktual dengan perhitungan, maka dapat menggunakan rumus rasio sebagai berikut:

$$\text{Rasio Perbedaan} = \frac{Y-X}{Y} \times 100\%$$

Keterangan:

Y = Nilai Penurunan perhitungan manual

X = Nilai Penurunan tes aksial

3. Hasil Pembahasan

Data *bored pile* yang diperoleh dari pengambilan data proyek P64 yaitu:

Panjang (L) = 28 m

Dimeter (D) = 1,2 m

Luas (A_p) = $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 1,2^2$
= 1,13 m²

$$\begin{aligned}\text{Luas Selimut (As)} &= 3,14 \times 1,2 \times 28 \\ &= 105,50 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Koreksi N-SPT MAT

Koreksi N-SPT menggunakan rumus sebagai berikut:

$$N_{60} = 15 + (0,5 \times (N\text{-SPT} - 15))$$

Hasil nilai koreksi N-SPT MAT kedalaman 0-28 terdapat pada **Tabel 1.3** berikut:

Tabel 1.3 Hasil Nilai Koreksi N-SPT MAT

Kedalaman	N-SPT	MAT N60
0	0	0
1	18	16,5
3	12	12
5	50	32,5
7	20	17,5
9	50	32,5
11	27	21
13	36	25,5
15	36	25,5
17	32	23,5
19	31	23
21	27	21
23	50	32,5
25	50	32,5
27	50	32,5
28	50	32,5

Sumber: Data Perhitungan Pribadi

$$\begin{aligned}N\text{-average} &= \frac{\text{Total MAT N60}}{\text{Jumlah kedalaman}} \\ &= \frac{32,5}{15} \\ &= 25,4\end{aligned}$$

Sehingga nilai *N-average* pada kedalaman 28 m adalah 25,4

Perhitungan daya dukung pondasi

$$\begin{aligned}Q_{ult} &= 40 \times N_b \times A_p + 0,2 \times N \times A_s \\ &= 40 \times 50 \times 1,13 + 0,2 \times 25,4 \times 105,50 \\ &= 1469,520 + 535,257 \\ &= 2004,777 \text{ kN}\end{aligned}$$

Sehingga daya dukung pondasi yang digunakan adalah 2004,777 kN

Perhitungan Penurunan Pondasi

$$\begin{aligned}Q_p &= 40 \times N_b \times A_p \\ &= 40 \times 50 \times 1,13 \\ &= 1469,520 \text{ kN} \\ Q_s &= 0,2 \times N \times A_s \\ &= 0,2 \times 25,4 \times 105,50 \\ &= 535,257 \text{ kN} \\ E_p &= 4700 \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,96 \text{ Mpa} \\ C_p &= 0,12 \quad (\text{Pasir} = 0,09 - 0,18) \\ C_s &= \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) C_p \\ &= \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{28}{1,2}} \right) \times 0,12 \\ &= 1,02 \\ q_c &= \frac{766 \times N}{2} \\ &= \frac{766 \times 32,5}{2}\end{aligned}$$

$$= 12447,5$$

$$q_p = q_c \times A_p$$

$$= 12447,5 \times 1,13$$

$$= 14070,7$$

Sehingga,

$$S_1 = \frac{(Q_p + \zeta Q_s)L}{A_p E_p}$$

$$= \frac{(1469,520 + (0,67 \times 535,257)) \times 28}{1,13 \times 25742,96}$$

$$= 1,7590 \text{ mm}$$

$$S_2 = \frac{Q_p \times C_p}{D q_p}$$

$$= \frac{1469,520 \times 0,12}{1,2 \times 14070,7}$$

$$= 0,010444 \text{ mm}$$

$$S_3 = \frac{Q_s \times C_s}{L q_p}$$

$$= \frac{535,257 \times 1,02}{28 \times 14070,7}$$

$$= 0,00139 \text{ mm}$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$= 1,7590 + 0,010444 + ,00139$$

$$= 1,7709 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan yang dihasilkan menggunakan metode semi empiris Vesic (1977), maka dapat diketahui bahwa penurunan yang terjadi pada titik P064 adalah 1,7709 mm.

Rasio Perbedaan

$$R = \frac{Y-X}{Y} \times 100\%$$

$$= \frac{1,7709-1,76}{1,7709} \times 100\%$$

$$= 0,61 \%$$

Rasio perbedaan antara data aktual dengan perhitungan manual menggunakan metode semi empiris Vesic (1977) adalah 0,61%.

4. Kesimpulan

Hasil analisis penurunan pondasi tiang bor pada proyek P064 *Elevated* STA 55+551 menunjukkan perbedaan yang relatif kecil antara data hasil pengujian aksial dan perhitungan manual. Dari pengujian aksial yang dilakukan, diperoleh nilai penurunan sebesar 1,76 mm, sedangkan perhitungan manual menggunakan metode semi empiris menghasilkan nilai penurunan sebesar 1,7709 mm. Berdasarkan perhitungan rasio perbedaan, hal ini menunjukkan bahwa nilai deviasi antara hasil tes aksial dengan perhitungan hanya 0,61%. Sehingga dapat dibuktikan bahwa dimensi serta kedalaman *bored pile* yang digunakan pada titik P064 *Elevated* STA 55 + 551 terbilang aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Luthfiani, I. Nurhuda, and I. D. Atmamto, "Analisis Penurunan Bangunan Pondasi Tiang Pancang dan Rakit pada Proyek Pembangunan Apartemen Surabaya Central Business District," *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 166–179, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>
- [2] D. Sartika Hutapea, Roesyanto, and R. Iskandar, "Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor dengan Plaxis 3D terhadap Hasil Loading Test," *J. Syntax Admiration*, vol. 2, no. 6, pp. 1007–1026, 2021, doi: 10.46799/jsa.v2i6.255.
- [3] Resa Susanti Rahmawati, C. Suhendi, and A. Setiawan, "Analisis perbandingan penurunan pondasi

- telapak pada empat lokasi,” *J. TESLINK Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 3, no. 1, pp. 45–51, 2021, doi: 10.52005/teslink.v2i1.36.
- [4] E. Kalogo, K. R. Bela, and P. Sianto, “Analisis Penurunan Segera pada Pondasi Telapak Berdasarkan Nilai Daya Dukung Terzaghi, Mayerhof, Brinch Hansen, dan Vesic,” *J. Tek. Sipil ITP*, vol. 8, no. 1, p. 3, 2021, doi: 10.21063/jts.2021.v801.03.
- [5] Jusi Ulfa, Haniza Sjelly, and Butar-Butar Putra, “Analisa Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Data Uji Lapangan dan Data Laboratorium,” *JICE - J. Infrastruct. Civ. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 182–194, 2022.
- [6] M. Haidar, I. Mas’ud, A. Situmorang, H. Masvika, and S. Artikel, “Analisis Penurunan Pondasi Pancang Pada Bangunan Instalasi Pengolahan Air Kawasan Industri Terpadu Batang Info Artikel,” *J. Ilm. Univ. Semarang*, vol. 18, no. 2, pp. 123–137, 2023, [Online]. Available: <http://journals.usm.ac.id/index.php/teknika>
- [7] M. Ridar and A. Khatib, “Tinjauan Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Sumuran Di Pemuda City Walk Di Jl. Pemuda Pekanbaru Propinsi Riau,” *J. Saintis*, vol. 15, no. 1, pp. 81–92, 2015.