

PERBANDINGAN BIAYA KONSTRUKSI *BORE PILE* DAN TIANG PANCANG PADA PROYEK PEMBANGUNAN MUSEUM BUDAYA SAINS DAN TEKNOLOGI SURAKARTA

Danendra Adiyatma*, Anto Budi Listyawan

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Jawa Tengah

*Email: danendra237@gmail.com

Abstrak

Pemilihan jenis pondasi dalam proyek konstruksi sangat mempengaruhi aspek teknis dan biaya. Penelitian ini bertujuan membandingkan daya dukung dan biaya konstruksi antara pondasi *bore pile* dan tiang pancang pada Proyek Pembangunan Museum Budaya Sains dan Teknologi Surakarta. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data primer berupa hasil uji N-SPT dan data sekunder berupa harga satuan material dan upah tenaga kerja berdasarkan AHSP Surakarta 2024. Perhitungan daya dukung menggunakan metode *Reese & Wright* (1977) untuk *bore pile* dan metode *US Army Corps* untuk tiang pancang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua jenis pondasi dengan diameter 600 mm dan kedalaman 11 m memiliki daya dukung izin (Q_a) yang sama, yaitu 1702,966 kN per tiang. Namun, dari segi biaya, pondasi tiang pancang lebih ekonomis dengan total biaya Rp40.375.496 dibandingkan *bore pile* Rp48.303.664, sehingga terjadi selisih biaya sebesar Rp7.928.168 atau 19,64%. Meskipun lebih mahal, *bore pile* memiliki keunggulan dalam hal minim getaran, kebisingan rendah, dan fleksibilitas pelaksanaan pada kondisi tanah keras.

Kata kunci: *bore pile*, daya dukung, estimasi biaya, perbandingan biaya, tiang pancang

Abstract

The selection of foundation type in a construction project significantly affects technical aspects and costs. This study aims to compare the bearing capacity and construction costs between bored piles and driven piles in the Surakarta Museum of Culture, Science, and Technology Development Project. The research method uses a quantitative approach with primary data from N-SPT test results and secondary data in the form of material unit prices and labor wages based on the Surakarta 2024 AHSP. Bearing capacity calculations use the Reese & Wright (1977) method for bored piles and the US Army Corps method for driven piles. The results show that both foundation types with a diameter of 600 mm and a depth of 11 m have the same allowable bearing capacity (Q_a) of 1702.966 kN per pile. However, in terms of cost, driven piles are more economical with a total cost of IDR 40,375,496 compared to bored piles at IDR 48,303,664, resulting in a cost difference of IDR 7,928,168 or 19.64%. Although more expensive, bored piles have advantages in terms of minimal vibration, low noise, and flexibility in hard soil conditions.

Keywords: *bearing capacity, bored pile, cost comparison, cost estimate, driven pile*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan Museum Budaya Sains dan Teknologi Surakarta merupakan salah satu infrastruktur strategis Pemerintah Kota Surakarta dalam rangka mendukung wisata edukasi dan meningkatkan daya tarik wisatawan ke Kota Solo. Struktur bangunan museum ini terdiri dari struktur bawah (pondasi, *pile cap*, dinding *basement*) dan struktur atas (plat lantai, kolom, balok, atap). Struktur bawah memiliki peran yang sangat kritis karena berfungsi meneruskan beban dari struktur atas ke lapisan tanah pendukung di bawahnya. Kesalahan dalam pemilihan dan perancangan pondasi dapat mengakibatkan kegagalan konstruksi, penurunan berlebihan, bahkan keruntuhan bangunan.

Secara umum, permasalahan pondasi dalam lebih rumit dibandingkan pondasi dangkal karena melibatkan interaksi tanah-tiang yang kompleks, pengaruh muka air tanah, dan metode pelaksanaan yang beragam. Dua jenis pondasi dalam yang paling umum digunakan di Indonesia adalah pondasi *bore pile* dan pondasi tiang pancang. Pondasi *bore pile* adalah pondasi yang dibangun dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu sesuai diameter rencana, kemudian tulangan dimasukkan dan dicor beton dengan pipa tremi (Hardiyatmo, 2015). Kelebihan *bore pile* antara lain: tidak menghasilkan getaran saat pemasangan, tidak menimbulkan kebisingan, dapat dibuat dengan diameter besar sehingga mengurangi jumlah tiang, serta fleksibel terhadap variasi kedalaman. Kekurangannya: memerlukan penanganan khusus terhadap air tanah, cuaca buruk dapat mengganggu pengecoran, dan biaya cenderung lebih tinggi.

Pondasi tiang pancang adalah bagian konstruksi dari kayu, beton, atau baja yang dipancangkan ke dalam

tanah untuk meneruskan beban ke lapisan yang lebih dalam (Bowles, 1991). Kelebihan tiang pancang: mutu beton terjaga karena dibuat secara fabrikasi, pelaksanaan mudah dan cepat, tidak terpengaruh cuaca, serta air tanah bukan kendala berarti. Kekurangannya: menimbulkan getaran dan kebisingan saat pemancangan, tiang dapat rusak selama pemancangan, serta sulit digunakan pada tanah berbatu.

Beberapa penelitian terdahulu telah membandingkan kedua jenis pondasi ini. Rintyaji (2015) pada pembangunan Hotel Best Western Adisucipto Yogyakarta mendapatkan bahwa *bored pile* lebih mahal Rp951.777.615 dibandingkan *driven pile*. Pohan dkk. (2023) pada proyek gudang bengkel di Padangsidempuan menunjukkan tiang pancang lebih hemat 13,2% dengan selisih Rp25.781.002. Rustira (2016) pada proyek apartemen di Bandung juga menunjukkan bahwa biaya *bore pile* per titik (Rp9.307.924) lebih mahal dari tiang pancang (Rp5.030.000). Hasil ini sejalan dengan penelitian Prasetyo dan Wulandari (2022) serta Wahyudi dan Kurniawan (2023) yang juga menemukan efisiensi biaya tiang pancang. Meskipun lebih mahal, *bore pile* memiliki keunggulan dalam hal minim getaran, kebisingan rendah, fleksibilitas pelaksanaan pada tanah keras, serta mutu beton yang dapat diawasi langsung di lapangan (Sulistyaningsih & Hartono, 2021).

Penelitian-penelitian internasional terkini juga banyak membahas perbandingan pondasi dalam. Abu-Farsakh dan Soury (2019) mengevaluasi kapasitas aksial pondasi *bore pile* berdasarkan uji beban lapangan dan data CPT. Altaf dkk. (2020) melakukan studi komparatif daya dukung *bored pile* dan *driven pile* pada tanah lempung lunak. Liu dan Zhang (2021) membandingkan karakteristik daya dukung kedua jenis pondasi pada tanah berlapis. Di Indonesia, Kurniawan dan Santoso (2023) menganalisis efisiensi biaya *bored pile* vs *spun pile* pada proyek perumahan. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum ada yang secara spesifik membahas kondisi tanah kohesif dengan N-SPT tinggi (50-60) dan muka air tanah dangkal seperti di lokasi Museum Surakarta.

Namun, penelitian-penelitian tersebut memiliki lokasi, kondisi tanah, dan spesifikasi yang berbeda dengan proyek Museum Surakarta. Selain itu, belum ada penelitian yang secara khusus menganalisis efisiensi biaya dan daya dukung pondasi *bore pile* versus tiang pancang pada tanah kohesif dengan nilai N-SPT tinggi (50-60 blows) serta muka air tanah pada kedalaman -12 m di wilayah Surakarta.

Berdasarkan *gap* tersebut, penelitian ini dirumuskan dengan dua pertanyaan utama: (1) Bagaimana perbandingan daya dukung antara pondasi *bore pile* dan tiang pancang pada proyek tersebut? (2) Bagaimana perbandingan biaya pelaksanaan antara kedua jenis pondasi? Adapun tujuan penelitian ini adalah: (1) Mengetahui nilai daya dukung pondasi *bore pile* dan tiang pancang, (2) Mengetahui total biaya konstruksi dari masing-masing pondasi, dan (3) Menentukan jenis pondasi yang lebih efisien dari segi biaya dengan daya dukung yang setara.

2. METODOLOGI

2.1 Jenis dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif komparatif. Lokasi penelitian di Proyek Pembangunan Museum Budaya Sains dan Teknologi Surakarta.

2.2 Data Penelitian

Data yang digunakan terdiri dari:

- Data primer: hasil uji *Standard Penetration Test* (N-SPT) hingga kedalaman 40 m, dengan nilai N-SPT rata-rata 50-60 blows pada kedalaman 11 m. Jenis tanah adalah lanau lempung kepasiran (*sandy clayey silt*) dengan kohesi *undrained* (*cu*) 125 kN/m².
- Data sekunder: harga satuan material dan upah tenaga kerja berdasarkan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) wilayah Surakarta tahun 2024, serta harga tiang pancang pracetak dari PT Wijaya Karya.

2.3 Spesifikasi Pondasi

Berdasarkan data proyek dan batasan masalah, spesifikasi pondasi yang dianalisis adalah sebagai berikut:

- Diameter tiang = 600 mm
- Kedalaman tiang = 11 m (dari permukaan tanah)
- Jenis tanah ujung tiang = tanah kohesif (N-SPT 50–60)
- Beban rencana per titik kolom (*P*) = 2250 kN (225 ton)
- Jumlah tiang per pile cap = 2 buah (hasil hitungan)
- Ukuran pile cap = 3,0 m (panjang) × 1,2 m (lebar) × 0,6 m (tebal)
- Jarak antar tiang = 3 × diameter = 1,8 m
- Mutu beton = K-300 (*f*'*c* = 25 MPa)

i) Mutu baja tulangan = BJTS 42B ($f_y = 420$ MPa) untuk ulir, BJTP 28 ($f_y = 280$ MPa) untuk polos

2.4 Metode Perhitungan Daya Dukung

Perhitungan daya dukung pondasi *bore pile* dan tiang pancang dilakukan berdasarkan parameter tanah dari uji N-SPT. Karena jenis tanah dominan adalah kohesif (lanau lempung), maka digunakan metode sebagai berikut.

Perhitungan daya dukung untuk *bore pile* (Reese & Wright, 1977) dan tiang pancang (US Army Corps) pada tanah kohesif menggunakan formulasi matematis yang secara fundamental sama.

Oleh karena itu, jika diameter, kedalaman, dan profil tanah identik, kedua metode akan menghasilkan nilai yang hampir sama. Ini bukan temuan baru, melainkan verifikasi bahwa kedua metode konsisten untuk kondisi tanah kohesif.

2.4.1 *Bore pile* (tanah kohesif) – Reese & Wright (1977)

a) Tahanan ujung ultimit:

$$Q_b = A_b \times f_b \quad (1)$$

$$f_b = 9 \times C_u \quad (2)$$

dengan:

Q_b = Tahanan ujung ultimit (kN)

A_b = Luas penampang tiang (m^2)

f_b = Tahanan gesek satuan (kPa)

C_u = Koefisien *undrained*

b) Tahanan gesek ultimit:

$$Q_s = \alpha \times C_u \times A_s \quad (3)$$

dengan:

Q_s = Tahanan gesek ultimit (kN)

$\alpha = 0,55$ (faktor adhesi)

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

C_u = Kohesi *undrained*

Kohesi *undrained* (C_u):

$$C_u = N_{60} \times (2/3) \times 10 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (4)$$

c) Koreksi N-SPT (N_{60}):

$$N_{60} = (1/0,6) \times E_f \times C_b \times C_s \times C_r \times N_{rata-rata} \quad (5)$$

dengan

$E_f = 0,73$ (efisiensi *hammer*)

$C_b = 1$

$C_s = 1$

$C_r = 0,85$

2.4.2 Tiang pancang (tanah kohesif) – US Army Corps

a) Tahanan ujung ultimit:

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \quad (6)$$

dengan:

$$\begin{aligned} Q_p &= \text{Tahanan ujung ultimit (kN)} \\ C_u &= \text{Koehesi undrainase (kN/m}^2\text{)} \\ A_p &= \text{Luas penampang tiang(m}^2\text{)} \end{aligned}$$

b) Tahanan gesek ultimit:

$$Q_s = \alpha \times C_u \times p \times L_i \quad (7)$$

dengan:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,55 \text{ (faktor adhesi)} \\ C_u &= \text{koefisien undrained kN/m}^2 \\ P &= \text{Keliling tiang(m)} \\ L_i &= \text{Panjang lapisan tanah (m)} \end{aligned}$$

c) Berat tiang efektif diperhitungkan untuk mendapatkan Q_u netto.

$$W_p = 1/4 \pi d^2 \cdot L \cdot \gamma_{\text{beton}} \quad (8)$$

dengan:

$$\begin{aligned} W_p &= \text{berat tiang (kN)} \\ d &= \text{diameter tiang (m)} \\ L &= \text{panjang tiang (m)} \\ \gamma_{\text{beton}} &= \text{berat jenis beton (Kn/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Faktor aman (SF) yang digunakan adalah 3 (untuk ujung tiang tanpa perbesaran) berdasarkan Tomlinson (1977). Daya dukung izin:

$$Q_a = Q_u / SF \quad (9)$$

dengan:

$$\begin{aligned} Q_a &= \text{Daya dukung izin (kN)} \\ Q_u &= \text{Kapasitas dukung ultimit netto (kN)} \\ S_f &= \text{Faktor aman} \end{aligned}$$

2.4.3 Efisiensi kelompok tiang

Menggunakan rumus *Converse-Labarre*:

$$E_g = 1 - \theta / 90 \times ((n - 1)m + (m - 1)n) / m \cdot n \quad (10)$$

dengan:

$$\begin{aligned} \theta &= \arctan(D/s), \\ D &= \text{diameter tiang (m)} \\ s &= \text{jarak antar tiang (m)} \\ m &= \text{jumlah tiang dalam satu baris,} \\ n &= \text{jumlah baris.} \end{aligned}$$

2.5 Metode Perhitungan Biaya (RAB)

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) menggunakan metode harga satuan pekerjaan. Langkah-langkah:

- Menghitung volume pekerjaan untuk 1 *pile cap* dengan 2 tiang (diameter 600 mm, kedalaman 11 m).
- Mengidentifikasi komponen pekerjaan: persiapan (pembersihan lapangan, *bowplank*, mobilisasi alat), pekerjaan tiang (pengeboran/pemancangan, pembesian, pengecoran atau pengadaan tiang pracetak), pekerjaan *pile cap* (galian, lantai kerja, bekisting, pembesian, pengecoran).
- Mengalikan volume dengan harga satuan berdasarkan AHSP Surakarta 2024.
- Menjumlahkan seluruh komponen untuk mendapatkan total biaya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Daya Dukung *Bore Pile*

Berdasarkan data N-SPT pada kedalaman 0–11 m, dilakukan perhitungan lapis per lapis (0–4 m, 4–8 m, 8–11 m) untuk mendapatkan tahanan gesek ultimit.

- Kedalaman 0–4 m: $N_{rata-rata} = 51,5 \rightarrow N_{60} = 53,259 \rightarrow C_u = 355,063 \text{ kN/m}^2 \rightarrow Q_{s1} = 1471,665 \text{ kN}$
- Kedalaman 4–8 m: $N_{rata-rata} = 57,3 \rightarrow N_{60} = 59,257 \rightarrow C_u = 395,051 \text{ kN/m}^2 \rightarrow Q_{s2} = 1637,407 \text{ kN}$
- Kedalaman 8–11 m: $N_{rata-rata} = 53,3 \rightarrow N_{60} = 55,121 \rightarrow C_u = 367,473 \text{ kN/m}^2 \rightarrow Q_{s3} = 1142,33 \text{ kN}$
- $Q_s \text{ total} = 4251,42 \text{ kN}$
- Tahanan ujung: $Q_b = A_b \times 9 \times C_u \text{ (pada ujung)} = 0,2826 \text{ m}^2 \times 9 \times 367,473 = 934,65 \text{ kN}$
- Berat tiang: $W_p = 77,715 \text{ kN}$
- $Q_u = Q_b + Q_s - W_p = 5108,9 \text{ kN}$
- $Q_a = Q_u / 3 = 1702,966 \text{ kN}$

Jumlah tiang yang dibutuhkan: $n = P / Q_a = 2250 / 1702,966 = 1,32 \rightarrow$ dibulatkan menjadi 2 tiang.

3.2 Daya Dukung Tiang Pancang

Dengan diameter dan kedalaman yang sama, serta menggunakan metode *US Army Corps* untuk tanah kohesif, diperoleh hasil:

- $Q_p = 9 \times C_u \times A_p = 934,63 \text{ kN}$
- Q_{s1}, Q_{s2}, Q_{s3} masing-masing sama dengan *bore pile* karena luas selimut dan faktor adhesi identik
 $\rightarrow Q_s \text{ total} = 4251,42 \text{ kN}$
- $Q_u = 5108,9 \text{ kN}$
- $Q_a = 1702,966 \text{ kN}$

Tabel 1. Rekapitulasi daya dukung *bore pile* dan tiang pancang

Parameter	Bore pile	Tiang pancang
Q_b (kN)	934,65	934,63
Q_s total (kN)	4251,42	4251,42
W_p (kN)	77,715	77,715
Q_u (kN)	5108,9	5108,9
Q_a (kN) (SF=3)	1702,966	1702,966

Berdasarkan Tabel 1, kedua pondasi memiliki nilai daya dukung yang identik karena diameter, kedalaman, dan kondisi tanah yang sama. Hal ini membuktikan bahwa untuk parameter tanah yang sama, kapasitas dukung ultimit tidak dipengaruhi oleh metode pemasangan (*bore* atau pancang), melainkan oleh dimensi dan sifat tanah.

Dari beban rencana $P = 2250 \text{ kN}$, jumlah tiang yang dibutuhkan $= P/Q_a = 2250/1702,966 \approx 1,32 \rightarrow$ dibulatkan menjadi 2 tiang per pile cap. Dengan jarak antar tiang 1,8 m, efisiensi kelompok tiang (E_g) dihitung sebesar 0,8976, sehingga $Q_{kelompok} = E_g \times n \times Q_a = 0,8976 \times 2 \times 1702,966 = 2954,986 \text{ kN} > 2250 \text{ kN}$ (memenuhi).

3.3 Perbandingan Biaya Konstruksi

Untuk 1 *pile cap* dengan 2 tiang (diameter 60 cm, kedalaman 11 m):

- Volume beton *bore pile* $= 2 \times (\frac{1}{4}\pi \times 0,6^2 \times 11) = 6,217 \text{ m}^3$
- Volume beton *pile cap* $= 3,0 \times 1,2 \times 0,6 = 2,16 \text{ m}^3$
- Volume galian *pile cap* (dengan ruang kerja 0,5 m) $= 4,0 \times 2,2 \times 0,65 = 5,72 \text{ m}^3$
- Lantai kerja (tebal 5 cm) $= 0,44 \text{ m}^3$
- Luas bekisting *pile cap* $= (3,0 + 1,2) \times 2 \times 0,6 = 5,04 \text{ m}^2$
- Panjang *bowplank* = keliling galian $= 2 \times (4,0 + 2,2) = 12,4 \text{ m}$
- Kebutuhan besi (asumsi 150 kg/m^3 beton) $= (6,217 + 2,16) \times 150 = 1256,55 \text{ kg}$

Tabel 2. Perhitungan RAB *bore pile* untuk 1 *pile cap* + 2 tiang

Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
Pekerjaan Persiapan				
Pembersihan lapangan	50	m ²	12.750	637.500
Pemasangan bowplank	12,4	m'	77.150	956.660
Mobilisasi alat bor	1	ls	5.400.000	5.400.000
Pekerjaan Tiang Bore Pile				
Pengeboran tanah	22	m'	280.000	6.160.000
Sewa alat bor (0,162 hari)	0,162	hari	3.800.000	615.224
Pembesian tiang (932,55 kg)	932,55	kg	16.775	15.643.993
Pengecoran tiang (6,217 m ³)	6,217	m ³	1.202.500	7.476.875
Pekerjaan Pile Cap				
Galian tanah	5,72	m ³	67.500	386.100
Lantai kerja (0,44 m ³)	0,44	m ³	1.002.650	441.166
Bekisting pile cap	5,04	m ²	334.600	1.686.384
Pembesian pile cap (324 kg)	324	kg	17.280	5.597.262
Pengecoran pile cap	2,16	m ³	1.202.500	2.597.724
Total				48.303.664

Berdasarkan Tabel 2 diperoleh total biaya pondasi *bore pile* dengan jumlah 2 tiang bor pada 1 *pilecap* sebesar Rp. 48.303.664.

Tabel 3. Perhitungan RAB tiang pancang untuk 1 *pile cap* + 2 tiang

Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
Pekerjaan Persiapan				
Pembersihan lapangan	50	m ²	12.750	637.500
Pemasangan bowplank	12,4	m'	77.150	956.660
Mobilisasi alat pancang	1	ls	5.400.000	5.400.000
Pekerjaan Tiang Pancang				
Pengadaan tiang pancang (22 m')	22	m'	850.000	18.700.000
Sewa alat pancang (0,275 hari)	0,275	hari	5.500.000	1.512.500
Upah pemancangan	22	m'	59.100	1.300.200
Penyambungan tiang (2 joint)	2	joint	580.000	1.160.000
Pekerjaan <i>Pile Cap</i> (sama dengan <i>bore pile</i>)				10.611.436
Total				40.375.496

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh total biaya pondasi tiang pancang dengan jumlah 2 tiang pada 1 *pilecap* sebesar Rp. 40.375.496.

Tabel 4. Perbandingan biaya konstruksi *bore pile* dan tiang pancang

Uraian	<i>Bore pile</i> (Rp)	Tiang pancang (Rp)
Pekerjaan persiapan	6.994.160	6.994.160
Pekerjaan tiang	30.600.868	22.672.700
Pekerjaan pile cap	10.708.636	10.708.636
Total	48.303.664	40.375.496
Selisih	7.928.168	
Efisiensi	19,64%	

Berdasarkan Tabel 4, tiang pancang lebih hemat 19,64% karena pengadaan tiang pracetak lebih murah, pemasangan cepat, dan tanpa pengecoran lapangan. Hal ini sejalan dengan Prasetyo dan Wulandari (2022) yang melaporkan efisiensi tiang pancang sebesar 18-22%, serta Wahyudi dan Kurniawan (2023) dengan efisiensi 15-20%. Sari dan Nugroho (2024) juga mengkonfirmasi bahwa pada tanah lempung lunak, tiang pancang lebih efisien hingga 25% dibanding *bore pile*.

Meskipun lebih mahal, *bore pile* memiliki keunggulan: tanpa getaran dan kebisingan, fleksibel terhadap tanah keras, serta mutu beton terkendali (Hardiyatmo, 2018; Sulistyarningsih & Hartono, 2021). Oleh karena itu, untuk proyek di area padat penduduk atau dekat bangunan eksisting, *bore pile* tetap direkomendasikan.

3.4 Pembahasan

3.4.1 Kesetaraan Daya Dukung

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *bore pile* dan tiang pancang dengan dimensi identik menghasilkan nilai Q_u dan Q_a yang hampir sama. Hal ini terjadi karena dalam penelitian ini nilai C_u dan α disamakan untuk kedua pondasi, sehingga secara matematis hasilnya identik. Jika nilai C_u dan α ditentukan secara terpisah mengikuti rekomendasi masing-masing metode (misalnya US Army Corps menggunakan α yang lebih tinggi untuk tiang pancang), maka hasil daya dukung bisa berbeda. Namun, karena keterbatasan data dan fokus penelitian pada perbandingan biaya, asumsi ini dianggap memadai. Studi Altaf dkk. (2020) dan Liu dan Zhang (2021) mengkonfirmasi bahwa perbedaan metode pemasangan pada tanah kohesif homogen memberikan perbedaan kapasitas kurang dari 5% jika parameter tanah disamakan.

Kesamaan ini bukan merupakan temuan orisinal penelitian, melainkan verifikasi bahwa kedua metode empiris tersebut konsisten untuk kondisi tanah kohesif dengan parameter yang sama. Kontribusi utama penelitian ini justru terletak pada perbandingan biaya konstruksi dan analisis efisiensi ekonomis antara kedua jenis pondasi pada kondisi tanah spesifik di lokasi proyek Museum Surakarta, yang belum pernah dilakukan sebelumnya.

3.4.2 Keunggulan Ekonomis Tiang Pancang

Biaya tiang pancang lebih rendah karena:

- Produk pracetak massal: Tiang pancang diproduksi di pabrik dengan skala ekonomis, harga per meter (Rp850.000) sudah termasuk tulangan dan mutu beton terjamin.
- Proses pemasangan cepat: Produktivitas alat pancang tinggi (rata-rata 10-15 menit per tiang untuk kedalaman 11 m), sehingga durasi sewa alat pendek.
- Tanpa pengecoran lapangan: Menghemat biaya beton *ready mix*, tenaga kerja tukang, dan pengawasan mutu.

Sebaliknya, *bore pile* memerlukan:

- Pengeboran dengan biaya per meter yang relatif tinggi.
- Pembesian dengan tenaga kerja lebih banyak (merakit tulangan di lapangan).
- Pengecoran dengan beton *ready mix* yang harus diawasi dan diuji *slump*.

3.4.3 Keunggulan *Bore Pile* yang perlu dipertimbangkan

Meskipun lebih mahal, *bore pile* memiliki keunggulan yang tidak dimiliki tiang pancang:

- Tanpa getaran dan kebisingan: Sangat cocok untuk proyek di pusat kota, dekat permukiman, atau bangunan eksisting yang sensitif terhadap getaran.
- Fleksibilitas diameter dan kedalaman: *Bore pile* dapat dengan mudah disesuaikan dengan kebutuhan beban; diameter dapat diperbesar hingga 1,5 m atau lebih.
- Mampu menembus tanah keras atau batuan: Dengan alat bor khusus, *bore pile* dapat menembus lapisan yang sulit dipancang.
- Kualitas beton terkendali: Pengecoran di lapangan memungkinkan pengambilan sampel beton dan uji *slump* secara langsung.
- Tidak ada risiko kerusakan tiang saat pemasangan: Tiang pancang bisa retak atau patah jika terkena batu atau pemancangan yang berlebihan.

Oleh karena itu, untuk proyek Museum Budaya Sains dan Teknologi Surakarta yang berlokasi di kawasan yang mungkin sudah padat, perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai dampak getaran pemancangan terhadap bangunan sekitar. Jika getaran menjadi masalah utama, maka *bore pile* tetap menjadi pilihan meskipun lebih mahal.

3.4.4 Konfirmasi dengan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Rintyaji (2015), Pohan dkk. (2023), dan Rustira (2016) yang semuanya menunjukkan bahwa tiang pancang lebih ekonomis daripada *bore pile* untuk kondisi tanah dan beban yang setara. Namun, keunggulan *bore pile* terletak pada:

- Tidak menimbulkan getaran dan kebisingan, cocok untuk area perkotaan.
- Fleksibel untuk berbagai kedalaman dan diameter.
- Mutu beton dapat diawasi langsung di lapangan.
- Dapat menembus tanah keras atau batuan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada Proyek Pembangunan Museum Budaya Sains dan Teknologi Surakarta dengan spesifikasi pondasi diameter 600 mm, kedalaman 11 m, tanah kohesif (N-SPT 50-60), beban rencana 2250 kN per kolom, serta menggunakan 1 *pile cap* dengan 2 tiang, dapat disimpulkan:

- a) Daya dukung: Kedua jenis pondasi (*bore pile* dan tiang pancang) memiliki daya dukung ultimit (Q_u) yang sama yaitu 5108,9 kN dan daya dukung izin (Q_a) 1702,966 kN per tiang. Kelompok tiang (2 tiang, jarak 1,8 m) memiliki efisiensi 0,8976 dengan kapasitas kelompok 2954,986 kN, masih lebih besar dari beban rencana (2250 kN), sehingga memenuhi persyaratan keamanan.
- b) Biaya konstruksi: Total biaya untuk *bore pile* adalah Rp48.303.664, sedangkan untuk tiang pancang adalah Rp40.375.496. Terdapat selisih biaya sebesar Rp7.928.168 (19,64%) dengan tiang pancang lebih hemat. Perbedaan utama berasal dari pekerjaan tiang (pengeboran, pembesian, pengecoran vs pengadaan tiang pracetak dan pemancangan).
- c) Rekomendasi: Untuk proyek dengan prioritas utama efisiensi biaya dan kecepatan pelaksanaan, serta tidak ada kendala getaran dan kebisingan, maka tiang pancang lebih disarankan. Namun, jika lokasi proyek berada di daerah padat penduduk, dekat bangunan eksisting, atau memiliki lapisan tanah keras/batuan, maka *bore pile* menjadi pilihan yang lebih baik meskipun biayanya lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Nusa Raya Cipta selaku kontraktor proyek yang telah memberikan data dan informasi yang diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Farsakh, M.Y., dan Souri, A., 2019, Evaluation of axial load capacity of bored piles from field load tests and cone penetration test data, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, No.8, Vol.145, hal 1-15.
- Altaf, K.E., dkk., 2020, Comparative study of bearing capacity of bored pile and driven pile in soft clay, *International Journal of Geotechnical Engineering*, No.4, Vol.14, hal 412-420.
- Bowles, J.E., 1991, *Analisis dan Desain Pondasi*, Edisi ke-4, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Chen, Y.J., dkk., 2022, Reliability analysis of driven pile capacity using SPT data: A case study in Indonesia, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, No.3, Vol.54, hal 220304.
- Hardiyatmo, H.C., 2018, *Teknik Pondasi 2*, Edisi ke-3, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kurniawan, R., dan Santoso, B., 2023, Analisis efisiensi biaya pondasi bored pile vs spun pile pada proyek perumahan di tanah lempung, *Jurnal Teknik Sipil ITB*, No.2, Vol.30, hal 145-156.
- Liu, J., dan Zhang, Z., 2021, Comparative study on bearing characteristics of bored piles and driven piles in layered soils, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.145, hal 106712.
- Pohan, I.J., Harahap, S., dan Pohan, R.F., 2023, *Perbandingan nilai ekonomis bore pile dengan tiang pancang untuk gudang bengkel di Manunggang Julu Kecamatan Padangsidempuan Tenggara*, *Jurnal STATIKA*, Universitas Graha Nusantara Padangsidempuan.
- Prasetyo, H., dan Wulandari, S., 2022, *Studi komparasi biaya pondasi bored pile dan spun pile pada proyek bangunan gedung bertingkat*, *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, No.2, Vol.6, hal 112-121.
- Reese, L.C., dan Wright, S.G., 1977, *Drilled Shaft Design and Construction Guidelines*, Report No. FHWA-HI-77-21, Federal Highway Administration, Washington D.C.
- Rintyaji, B., 2015, *Analisis perbandingan kekuatan, metode pelaksanaan, dan biaya antara bore pile dan driven pile pada pembangunan Hotel Best Western Adisucipto Yogyakarta*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Rustira, 2016, *Analisis perbandingan biaya pada pondasi telapak, bore pile dan tiang pancang dengan daya dukung yang sama pada proyek apartemen di Bandung*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Sari, D.P., dan Nugroho, S.A., 2024, Efisiensi biaya dan waktu pondasi tiang pancang dibandingkan bore pile pada tanah lempung lunak, *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, No.1, Vol.10, hal 33-42.
- Sulistyaningsih, R., dan Hartono, W., 2021, Analisis daya dukung pondasi tiang bor berdasarkan data SPT dan CPT di wilayah Solo Raya, *Jurnal Geoteknik dan Lingkungan*, No.2, Vol.8, hal 77-86.
- Tomlinson, M.J., dan Woodward, J., 2014, *Pile Design and Construction Practice*, Edisi ke-6, CRC Press, London.

Wahyudi, B., dan Kurniawan, R., 2023, Perbandingan biaya konstruksi bored pile dan driven pile pada proyek pembangunan gedung bertingkat sedang, *Jurnal Rekayasa Konstruksi*, No.1, Vol.12, hal 55-64.