

ANALISIS FONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK HOTEL HELICONIA JATIM PARK 1

Roudotul Inayah^{1,*}, Moch Sholeh¹, Dandung Novianto²,

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang²

Email: nayahbembeng@gmail.com¹, moch.sholeh@polinema.ac.id², dandung.novianto@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Fondasi merupakan elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban bangunan ke lapisan tanah yang memiliki daya dukung memadai sehingga stabilitas struktur dapat terjamin. Penelitian ini bertujuan menganalisis beban struktur atas, kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT), serta menentukan alternatif fondasi yang paling ekonomis pada Proyek Hotel Heliconia Jatim Park 1. Analisis struktur atas dilakukan menggunakan ETABS mengacu pada SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, dan SNI 2847:2019. Daya dukung fondasi dihitung menggunakan metode Meyerhof dan Briaud untuk data SPT, serta metode Schmertmann, de Ruiter dan Beringen, dan LCPC untuk data CPT. Analisis penurunan dilakukan menggunakan metode Vesic dengan variasi dimensi dan kedalaman tiang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh alternatif memenuhi persyaratan daya dukung dan penurunan yang diizinkan. Berdasarkan evaluasi teknis dan ekonomis, alternatif terbaik diperoleh dari data CPT, yaitu fondasi tiang pancang berukuran $0,35 \times 0,35$ m sebanyak 4 tiang pada kedalaman 6 m untuk Zona 2, berukuran $0,30 \times 0,30$ m sebanyak 4 tiang untuk Zona 1, dan berukuran $0,30 \times 0,30$ m sebanyak 2 tiang untuk Zona 3. Alternatif tersebut menghasilkan Rencana Anggaran Biaya pekerjaan fondasi sebesar Rp6.741.927.488,43 sehingga layak diterapkan pada proyek.

Kata Kunci: fondasi tiang pancang, daya dukung, *Standard Penetration Test* (SPT), *Cone Penetration Test* (CPT), Rencana Anggaran Biaya.

ABSTRACT

Foundations are structural elements that transfer building loads to soil layers with sufficient bearing capacity, thereby ensuring structural safety and stability. This study aims to analyze superstructure loads, evaluate the bearing capacity and settlement of pile foundations using Standard Penetration Test (SPT) and Cone Penetration Test (CPT) data, and determine the most economical foundation alternative for the Heliconia Hotel Project at Jatim Park 1. Superstructure analysis was performed using ETABS in accordance with SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, and SNI 2847:2019. The bearing capacity was evaluated using the Meyerhof and Briaud methods for SPT data, and the Schmertmann, de Ruiter and Beringen, and LCPC methods for CPT data. Foundation settlement was analyzed using the Vesic method with various pile dimensions and embedment depths. The results indicate that all design alternatives satisfy the required bearing capacity and allowable settlement criteria. Based on the technical and economic evaluation, the optimum design was obtained from the CPT analysis, comprising 0.35×0.35 m piles (4 piles) at a depth of 6 m for Zone 2, 0.30×0.30 m piles (4 piles) for Zone 1, and 0.30×0.30 m piles (2 piles) for Zone 3. The selected alternative resulted in an estimated foundation construction cost of IDR 6,741,927,488.43, demonstrating its feasibility for implementation in the project.

Keywords: pile foundation, bearing capacity, *Standard Penetration Test* (SPT), *Cone Penetration Test* (CPT), construction cost estimation.

1. PENDAHULUAN

Perencanaan fondasi tiang pancang pada bangunan bertingkat wajib menjamin keamanan transfer beban struktural dengan meminimalkan risiko penurunan (Bowles,

1997). Meskipun riset terdahulu telah mengevaluasi kapasitas fondasi secara analitis maupun numerik menggunakan data lapangan (Maulana & Kusumastuti, 2024; Rahmananda & Rahmat, 2025; Siagian & Nugroho,

2023), studi komparatif yang memvalidasi data *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT) secara simultan untuk optimalisasi geometri tiang dan biaya konstruksi masih terbatas. Celah (gap) inilah yang menjadi urgensi riset ini.

Masalah riil terjadi pada Proyek Hotel Heliconia Jatim Park 1 di Kota Batu, bangunan 7 lantai dengan kolom utama 50×70 cm. Di lapangan, square pile 30 cm terpasang pada kedalaman 7 m, mengalami deviasi dari rencana awal setinggi 10–12 m. Perbedaan ini memicu pertanyaan kritis mengenai kelayakan daya dukung dan besaran penurunan fondasi eksisting. Untuk mengevaluasinya, riset ini melakukan analisis struktur atas (pelat, balok, kolom) via program ETABS dan perhitungan manual, menguji daya dukung tanah berdasarkan data SPT (20 m) dan tiga titik CPT (8,4 m), serta menghitung penurunan tiang tunggal dan kelompok menggunakan metode Vesic dengan variasi dimensi tiang (25–55 cm) dan kedalaman (6–9 m). Selain itu, urutan metode pelaksanaan kerja dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) turut dirumuskan untuk menemukan konfigurasi paling efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan beban struktural, membandingkan validitas parameter SPT-CPT, mengontrol batas izin penurunan fondasi, serta menyusun metode kerja yang adaptif dengan kondisi lapangan. Hasil studi ini diharapkan memberi manfaat praktis bagi dunia konstruksi sebagai referensi alternatif desain fondasi bangunan bertingkat yang optimal secara teknis maupun finansial, sekaligus memperkaya literatur akademik di bidang teknik geoteknik dan struktur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kondisi Tanah dan Investigasi Geoteknik

Penyelidikan tanah oleh Testana Engineering (2025) pada Proyek Hotel Heliconia Jatim Park 1 menunjukkan bahwa lapisan permukaan hingga kedalaman 4,0 m didominasi lempung berlanau berkonsistensi lunak-sedang ($N_{60} = 4-7$) dengan kompresibilitas tinggi ($w_n = 43\%-47\%$, $e_0 = 1,23-1,32$, $c = 0,23-0,4$ kg/cm², $\phi = 10^\circ-11^\circ$, $C_c = 0,21-0,29$) yang rentan terhadap deformasi penurunan. Lapisan pendukung kokoh berupa pasir berlanau padat ($N_{60} > 33$) baru teridentifikasi pada kedalaman 9 hingga 14 m. Sebagai pembanding, digunakan data uji CPT (sondir) titik S-1 dengan penetrasi maksimum 8,40 m. Seluruh data lapangan ini menjadi basis mekanistik dalam mengevaluasi kapasitas dukung tiang pancang, di mana data SPT dianalisis dengan metode Meyerhof dan Briaud, sedangkan data CPT (variasi kedalaman rencana 6 m, 7 m, dan 8 m) dihitung menggunakan metode Schmertmann, de Ruiter dan Beringen, serta LCPC.

Pembebanan Struktur Gedung

Analisis pembebanan struktur beton bertulang ini mengacu pada SNI 1727:2020 (beban mati dan hidup), SNI 1726:2019 (gempa respons spektrum Kota Batu), dan SNI 2847:2019. Beban mati mencakup komponen struktural dan arsitektural, sedangkan beban hidup lantai disesuaikan dengan fungsi ruang, yaitu kamar hotel (1,44 kN/m²), koridor (3,88 kN/m²), serta area servis/gudang (6,0 kN/m²). Pemodelan tiga dimensi balok, pelat, dan kolom disimulasikan menggunakan ETABS untuk mengekstrak reaksi tumpuan terkritis. Kombinasi beban terfaktor (LRFD) diaplikasikan untuk memperoleh gaya aksial ultimit (P_u), geser (V_u), dan momen (M_u) sebagai parameter desain kekuatan fondasi, sementara kombinasi beban layan (ASD) digunakan untuk proyeksi penurunan. Guna memastikan keandalan input, keluaran gaya aksial kolom terbesar dari ETABS diverifikasi melalui perhitungan manual berbasis metode luas tributari (tributary area).

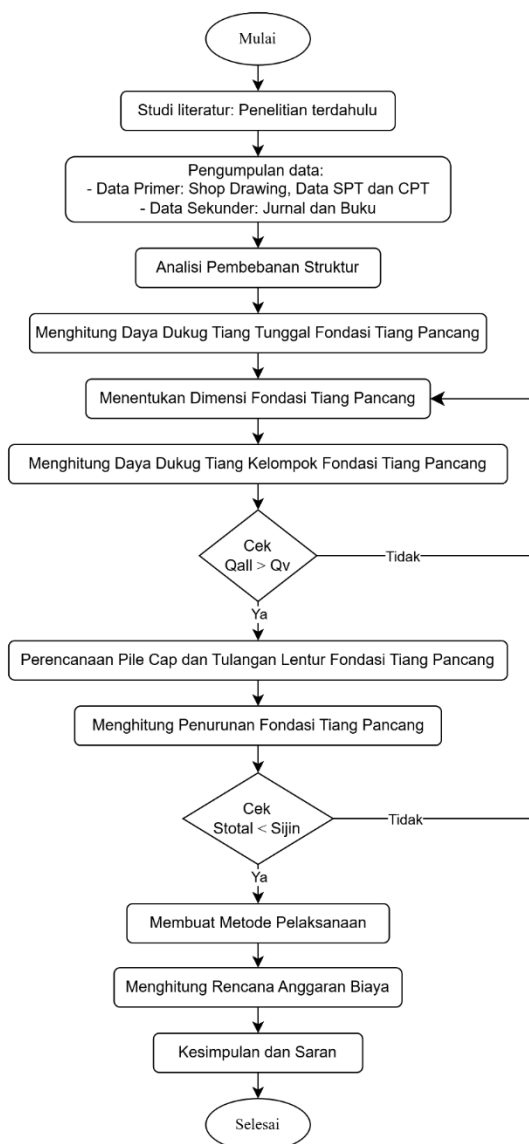
Fondasi Tiang Pancang

Konfigurasi fondasi dalam berupa tiang pancang pracetak beton bertulang berbentuk persegi (square pile) dipilih guna menembus lapisan lempung lunak atas menuju tanah keras pendukung. Secara mekanis, kapasitas dukung ultimit tiang tunggal (Q_u) diperoleh dari akumulasi simultan antara tahanan ujung nominal (Q_p) di dasar tiang dan tahanan gesekan/adhesi selimut (Q_s) sepanjang material tiang yang tertanam di dalam tanah. Untuk keperluan operasional desain yang aman, kapasitas dukung izin (Q_{all}) ditentukan dengan mereduksi kapasitas ultimit menggunakan faktor keamanan (*factor of safety*/FoS) bernilai 2,0 hingga 3,0 sesuai ketentuan SNI 8460:2017. Evaluasi terhadap penurunan tiang tunggal maupun kelompok tiang dalam studi ini dihitung secara analitis menggunakan metode Vesic untuk memastikan perilaku deformasi fondasi masih berada di bawah batas izin yang diperkenankan.

3. METODE

Penelitian dilaksanakan melalui tiga tahapan utama, yaitu pengumpulan data, analisis data, dan penarikan kesimpulan. Data yang digunakan terdiri atas data primer berupa hasil penyelidikan tanah (Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT), data laboratorium, gambar rencana fondasi, serta data dimensi tiang pancang eksisting yang diperoleh dari Proyek Hotel Heliconia Jatim Park 1. Data sekunder diperoleh dari standar SNI, buku, dan jurnal yang relevan.

Tahap analisis meliputi analisis pembebanan struktur atas menggunakan ETABS, analisis kapasitas daya dukung tiang tunggal dan kelompok berdasarkan data SPT dan CPT, analisis efisiensi kelompok tiang dengan metode Converse-Labarre, perencanaan pile cap sesuai SNI 2847:2019, analisis penurunan fondasi berdasarkan SNI 8460:2017, penyusunan metode pelaksanaan pekerjaan fondasi, serta penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Hasil analisis selanjutnya digunakan untuk menentukan alternatif fondasi yang memenuhi persyaratan teknis dan memberikan biaya paling ekonomis.



Gambar 1 Diagram Alir Metode Perencanaan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan Struktur Atas

Hasil analisis pembebanan struktur atas menggunakan software ETABS menghasilkan nilai beban nilai aksial

fondasi (Q_v) terbesar untuk zona 1 adalah 2775,0684 kN, zona 2 adalah 4153,08 kN, zon 3 adalah 1166,2942 kN.

Perhitungan Nilai Daya Dukung Tiang

Pada perhitungan disini didapat nilai yang paling efektif dan efisien berada di kedalaman 6 m dengan dimensi 0,3 m dan 0,35 m menggunakan data CPT Metode de Ruiter dan Beringen.

a. Kapasitas Dukung Berdasarkan Data CPT

Metode de Ruiter dan Beringen

Menghitung kapasitas daya dukung ujung tiang:

$$\begin{aligned}
 Q_t &= \frac{qc1 + qc2}{2} \\
 &= \frac{13 + 63}{2} \\
 &= 38,33 \times 98,1 \\
 &= 3760 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$N_k = 20$$

$$\begin{aligned}
 S_u &= \frac{qc}{N_k} \\
 &= \frac{3760}{20} \\
 &= 187,00 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$N_c = 9$$

$$\begin{aligned}
 Q_p &= N_c \times S_u \\
 &= 9 \times 187,00 \\
 &= 1692,01 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung selimut:

$$\begin{aligned}
 f_s &= S_u \times \beta \\
 &= 187,00 \times 1,00 \\
 &= 187,00 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= p \times \Delta L \\
 &= 4 \times 0,35 \times 6 \\
 &= 8,4 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_s &= f_s \times A_s \\
 &= 187,00 \times 8,4 \\
 &= 1579,21 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung ultimit:

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_s \\
 &= 1692,01 + 1579,21 \\
 &= 3271,23 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung ijin:

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_u}{F_s} \\
 Q_{all} &= \frac{3271,23}{3} \\
 &= 1090,41 \text{ kN} < 4153,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

a. Penentuan jumlah tiang

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{p}{Q_{all}} \\
 &= \frac{4153,08}{1090,41} \\
 &= 3,81 = 4
 \end{aligned}$$

b. Daya Dukung Kelompok Tiang

Menghitung Kapasitas ultimit kelompok:

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1} \frac{D}{s} \\ &= \tan^{-1} \frac{0,35}{0,9} \\ &= 0,32 \\ \eta &= 1 - \theta \times \left[\frac{(n_1-1)m + (m-1)n_1}{90 \times m \times n_1} \right] \\ &= 1 - 0,32 \times \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2} \right] \\ &= 0,996 \\ Q_g &= Q_u \times n \times \eta \\ &= 3271,23 \times 12 \times 0,996 \\ &= 13038,14 \text{ kN}\end{aligned}$$

Menentukan jarak antar tiang:

$$\begin{aligned}s &= 3 \times D \\ &= 3 \times 0,35 \\ &= 1,05 \text{ m} \\ L_g &= (m-1)s + 2 \frac{D}{2} \\ &= (2-1)1,05 + 2 \frac{0,35}{2} \\ &= 1,4 \text{ m} \\ B_g &= (n_1-1)s + 2 \frac{D}{2} \\ &= (2-1)1,05 + 2 \frac{0,35}{2} \\ &= 1,4 \text{ m}\end{aligned}$$

Menghitung Daya dukung izin kelompok tiang:

$$\begin{aligned}Q_{ijin} &= \frac{Q_g}{f_s} \\ &= \frac{13038,14}{3} \\ &= 4346 \text{ kN} > 4153,08 \text{ kN}\end{aligned}$$

c. Distribusi Beban Pada Fondasi Tiang Pancang

Menghitung Distribusi Beban:

$$\begin{aligned}Q_{pi} &= \frac{Q_v}{n} + \frac{M_x \times y}{\sum y^2} + \frac{M_y \times x}{\sum x^2} \\ Q_{pi T1} &= \frac{4153,08}{4} + \frac{475,9749 \times 0,53}{1,103} + \frac{445,139 \times -0,53}{1,103} \\ &= 1052,953 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}Q_{pi} &< \text{Allowable Compression} && \text{OK} \\ Q_{pi T1} &< 1164 \text{ kN} && \text{OK}\end{aligned}$$

Perencanaan Pile Cap Fondasi

a. Kontrol Geser Satu Arah

Menghitung Gaya geser nominal:

$$\begin{aligned}d &= h - p - D - 1/2D \\ &= 1000 - 40 - 13 - \frac{1}{2} \times 13 \\ &= 941 \text{ mm} \\ V_c &= 0,17 \sqrt{f'c} \times bw \times d \\ &= 0,17 \sqrt{25} \times 1000 \times 941 \\ &= 799425 \text{ N} \\ &= 799,425 \text{ kN} \\ \phi V_c &= 0,75 \times 799,425\end{aligned}$$

$$= 599,56875 \text{ kN}$$

Syarat keamanan:

$$\begin{aligned}V_u &\leq \phi V_c \\ 243,3327 \text{ kN} &< 599,56875 \text{ kN}\end{aligned}$$

b. Kontrol Geser Dua Arah

Menghitung Gaya geser nominal:

$$\begin{aligned}V_u &: 228,1124 \text{ kN} \\ V_c &= 0,33 \sqrt{f'c} \times bw \times d \\ &= 0,33 \sqrt{25} \times 1000 \times 941 \\ &= 1551825 \text{ N} \\ &= 1551,825 \text{ kN} \\ \phi V_c &= 0,75 \times 1551,825 \\ &= 1163,86875 \text{ kN}\end{aligned}$$

Syarat keamanan:

$$\begin{aligned}V_u &\leq \phi V_c \\ 243,3327 \text{ kN} &< 1163,86875 \text{ kN}\end{aligned}$$

c. Perencanaan Penulangan Lentur

Menghitung Kuat Momen Nominal:

$$\begin{aligned}\phi M_n &\geq M_u \\ M_u &= 361,39 \text{ kN} \\ \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,75 \times 1327 \times 400 \times \left(941 - \frac{24,985}{2} \right) \\ &= 369529700 \text{ Nmm} \\ &= 369,529700 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Persyaratan Tulangan Lentur

$$\begin{aligned}\phi M_n &\geq M_u \\ 369,529700 &> 361,39\end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan Lentur:

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{0,85 \times 25 \times 1000}{400} \left(941 - \sqrt{941^2 - \frac{2 \times 475,9749 \times 10^6}{0,75 \times 0,85 \times 25 \times 1000}} \right) \\ &= 1.297,696 \text{ mm}^2 \\ A_{smin1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{400} \times 1000 \times 941 \\ &= 2939 \text{ mm}^2 \\ A_{smin2} &= \frac{1,4}{400} \times 1000 \times 941 \\ &= 3292 \text{ mm}^2 \\ A_{smax} &= 0,025 \times b \times d \\ &= 0,025 \times 1000 \times 941 \\ &= 23512,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Penurunan Fondasi Tiang

a. Penurunan Tiang Tunggal

$$\begin{aligned}Q_p &= \frac{648}{770,4} \times 100 \\ &= 84 \% \\ Q_s &= \frac{172,8}{770,4} \times 100\end{aligned}$$

$$= 15,89 \%$$

$$3,328 \text{ mm} < 156,33 \text{ mm}$$

$$Q_{wp} = \frac{84}{3}$$

$$= 28,04 \%$$

$$Q_{ws} = \frac{15,89}{3}$$

$$= 5,30 \%$$

$$S_{e1} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p \times E_p}$$

$$= \frac{(28,04 + 0,5 \times 5,30)6}{0,20 \times 25}$$

$$= 0,00004 \text{ m}$$

$$= 0,036 \text{ mm}$$

$$S_{e2} = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p}$$

$$= \frac{28,04 \times 0,04}{0,45 \times 3200}$$

$$= 0,001 \text{ m}$$

$$= 0,779 \text{ mm}$$

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

$$= \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{6}{0,45}} \right) \times 0,04$$

$$= 0,1$$

$$S_{e3} = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p}$$

$$= \frac{5,30 \times 0,1}{6 \times 3200}$$

$$= 0,00002 \text{ m}$$

$$= 0,017 \text{ mm}$$

$$S_e = S_{e1} + S_{e2} + S_{e3}$$

$$= 0,036 + 0,779 + 0,017$$

$$= 0,832 \text{ mm}$$

Penurunan Kelompok Tiang

$$S_g = \sqrt{\frac{Bg}{D}} \times S_e$$

$$= \sqrt{\frac{7,20}{0,45}} \times 0,832$$

$$= 3,328 \text{ mm}$$

$$S_{ijin} = 15 + \frac{380}{600}$$

$$= 15,633 \text{ cm}$$

$$= 156,33 \text{ mm}$$

Maka kontrol Sijin sebagai berikut:

$$S_{total} < S_{ijin}$$

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) fondasi Hotel Heliconia Jatim Park 1 dihitung berdasarkan volume desain aktual dan AHSP Kota Batu yang mencakup upah, material *square pile*, operasional alat berat (*crawler crane* dan *diesel hammer*), serta *overhead* 10%. Total biaya konstruksi yang dihasilkan adalah sebesar Rp 6.741.927.488,43 (termasuk PPN 11%), dengan alokasi Rp 126.193.460,00 untuk pekerjaan persiapan, Rp 19.205.704,32 untuk galian-urugan, dan Rp 5.928.409.383,82 untuk pekerjaan fondasi (*pile* dan *pile cap*). Pekerjaan fondasi menyerap anggaran paling dominan akibat tingginya biaya fabrikasi tiang beton pracetak, durasi pemancangan mekanis, dan kebutuhan volume baja tulangan yang padat pada tiga tipe *pile cap*. Angka rekapitulasi akhir ini menjadi parameter finansial utama dalam menentukan desain alternatif struktur bawah yang paling optimal dan ekonomis tanpa mengurangi faktor keamanan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis komprehensif pada proyek Pembangunan Hotel Heliconia Jatim Park 1, dapat disimpulkan beberapa poin esensial berikut:

1. **Analisis Struktur:** Analisis struktur atas dilakukan menggunakan perhitungan manual, pemodelan ETABS, dan dibandingkan dengan data perencanaan kontraktor. Beban aksial kolom terbesar yang diperoleh dari perhitungan manual sebesar 3.591,91 kN, hasil analisis ETABS sebesar 4.153,08 kN, dan data kontraktor sebesar 3.453,814 kN. Nilai hasil ETABS digunakan sebagai beban rencana pada analisis fondasi karena menghasilkan beban terbesar serta mampu merepresentasikan perilaku struktur tiga dimensi dengan kombinasi pembebanan yang lebih komprehensif.
2. **Analisis Daya Dukung:** Kapasitas daya dukung fondasi dihitung menggunakan data SPT dengan metode Meyerhof dan Briaud, serta data CPT menggunakan metode Schmertmann, de Ruiter dan Beringen, dan LCPC. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas satu tiang pancang pada seluruh metode belum mampu menahan beban struktur sehingga diperlukan penggunaan kelompok tiang (*pile group*). Perbedaan hasil antar metode menunjukkan bahwa jenis data investigasi tanah dan metode analisis memberikan pengaruh terhadap kapasitas daya dukung yang diperoleh sehingga menjadi dasar dalam pemilihan alternatif fondasi yang paling sesuai.
3. **Dimensi Fondasi:** Evaluasi dilakukan terhadap beberapa variasi dimensi penampang dan kedalaman tiang untuk memperoleh alternatif fondasi yang

memenuhi persyaratan daya dukung, penurunan, serta efisiensi biaya. Berdasarkan hasil analisis, alternatif optimum diperoleh menggunakan data CPT dengan metode *de Ruiter and Beringen*. Fondasi yang direkomendasikan terdiri atas tiang berukuran $0,30 \times 0,30$ m sebanyak 4 tiang pada Zona 1, $0,35 \times 0,35$ m sebanyak 4 tiang pada Zona 2, dan $0,30 \times 0,30$ m sebanyak 2 tiang pada Zona 3 dengan kedalaman 6 m. Kapasitas daya dukung izin yang dihasilkan masing-masing sebesar 3.789 kN, 4.346 kN, dan 1.898 kN, sehingga mampu menahan beban struktur sebesar 2.775,07 kN, 4.153,08 kN, dan 1.166,29 kN. Penurunan yang terjadi sebesar 1,633 mm pada Zona 1, 1,238 mm pada Zona 2, dan 1,633 mm pada Zona 3, masih jauh di bawah batas penurunan yang diizinkan sebesar 156,33 mm.

4. **Daya Dukung dan Penurunan:** Analisis penurunan dilakukan menggunakan metode Vesic terhadap tiang tunggal dan kelompok tiang. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan tiang tunggal belum memenuhi kebutuhan beban struktur, sedangkan kelompok tiang mampu memberikan kapasitas yang memadai dengan nilai penurunan yang masih berada di bawah batas izin berdasarkan SNI 8460:2017. Hal ini menunjukkan bahwa fondasi yang direncanakan memenuhi persyaratan keamanan dan kinerja layanan (*serviceability*)
5. **Metode Pelaksanaan dan Rencana Anggaran Biaya:** Metode pelaksanaan fondasi meliputi pekerjaan persiapan, pengukuran titik pancang, mobilisasi alat, pemancangan, penyambungan dan pemotongan kepala tiang, pekerjaan pile cap, serta pengendalian mutu selama pelaksanaan. Berdasarkan perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB), total biaya pekerjaan fondasi tiang pancang sebesar **Rp6.741.927.488,43**. Nilai tersebut dihitung berdasarkan volume pekerjaan, Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), dan Harga Satuan Dasar Kota Batu Tahun 2025 sehingga dapat dijadikan acuan dalam perencanaan pekerjaan fondasi pada proyek sejenis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Das, B. M. (2019). *Advanced soil mechanics*. (5. ed., Ed.) Boca Raton: CRC Press.
- [2] Hardiyatmo, H. C. (2010). *Analisis dan perancangan fondasi*. (E. ke-2, Ed.) Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [3] Kawanda, A. (2022). *Perancangan fondasi dalam*. Malang: Politeknik Negeri Malang.
- [4] Meyerhof, G. G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 102(3), 195-228.
- [5] Nasional, B. S. (2016). SNI 2835:2016 Tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan pondasi untuk konstruksi bangunan gedung dan perumahan. Jakarta: BSN.
- [6] Nasional, B. S. (2017). SNI 8460:2017 Persyaratan perencanaan geoteknik. Jakarta: BSN.
- [7] Nasional, B. S. (2019). SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung. Jakarta: BSN.
- [8] Nasional, B. S. (2019). SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Jakarta: BSN.
- [9] Nasional, B. S. (2020). SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Jakarta: BSN.
- [10] Vesic, A. S. (1977). *Design of pile foundations*. Washington, DC: Transportation Research Board.