

ANALISIS KAPASITAS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN NILAI N-SPT

(Studi Kasus: Instalasi Pengolahan Air Minum Karang Pilang IV Kota Surabaya)

Fernando Rama Syahputra¹, R. A. Mariyana², Moch. Sholeh³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: fernando04rama@gmail.com¹, raden.ajeng@polinema.ac.id², moch.sholeh@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang IV merupakan bangunan dengan Kategori Risiko IV yang membutuhkan perencanaan fondasi yang andal. Kondisi tanah di lokasi proyek didominasi oleh lapisan lempung lunak sehingga diperlukan fondasi tiang pancang sebagai solusi yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan fondasi tiang pancang berdasarkan data N-SPT dan data laboratorium, meliputi analisis pembebanan, kapasitas daya dukung, dimensi fondasi, penurunan, serta Rencana Anggaran Biaya (RAB). Pembebanan struktur atas dianalisis menggunakan program Etabs 2022 dengan kombinasi beban ASD dan LRFD mengacu SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019, menghasilkan gaya aksial terbesar pada kolom 176 sebesar 4.224,95 kN (ASD) dan 5.622,08 kN (LRFD). Daya dukung tiang dihitung menggunakan metode Meyerhof–Vesic untuk daya dukung ujung dan metode alfa Tomlinson untuk daya dukung selimut, dengan variasi diameter 0,4 m; 0,6 m; dan 0,8 m sepanjang 23 m. Konfigurasi optimal yang terpilih adalah diameter 0,8 m dengan 4 tiang per kelompok, menghasilkan pile cap berukuran 5,6 m × 5,6 m × 0,7 m dengan tulangan D25-200. Penurunan fondasi diperoleh sebesar 3,218 cm secara analitis dan 2,019 cm berdasarkan pemodelan Plaxis 2D, keduanya memenuhi batas izin 19,45 cm sesuai SNI 8460:2017. Total RAB pekerjaan fondasi sebesar Rp 3.979.000.000,00.

Kata kunci : tiang pancang; daya dukung pondasi; pile cap; penurunan pondasi; IPAM Karang Pilang IV

ABSTRACT

The Karang Pilang IV Water Treatment Plant (IPAM) is a Risk Category IV structure that requires a reliable foundation system. Dominated by soft clay layers, the project site necessitates the use of a pile foundation. This study aims to plan a driven pile foundation based on N-SPT data and laboratory test results, covering load analysis, bearing capacity, foundation dimensions, settlement, and cost estimation. Superstructure loads were analyzed using Etabs 2022 software under ASD and LRFD load combinations in accordance with SNI 1726:2019 and SNI 2847:2019, yielding a maximum axial force of 4,224.95 kN (ASD) and 5,622.08 kN (LRFD) at column 176. Pile bearing capacity was calculated using the Meyerhof–Vesic method for end bearing and the alpha Tomlinson method for skin friction, with pile diameter variations of 0.4 m, 0.6 m, and 0.8 m at a length of 23 m. The optimal configuration selected was a 0.8 m diameter pile with 4 piles per group, resulting in a pile cap of 5.6 m × 5.6 m × 0.7 m with D25-200 reinforcement. Foundation settlement was found to be 3.218 cm analytically and 2.019 cm from Plaxis 2D modeling, both within the allowable limit of 19.45 cm per SNI 8460:2017. The total estimated construction cost for the foundation works is IDR 3,979,000,000.

Keywords : driven pile; bearing capacity foundation; pile cap; settlement foundation; Karang Pilang IV Water Treatment Plant

1. PENDAHULUAN

Dalam ilmu geoteknik, pondasi merupakan salah satu komponen vital yang menentukan kestabilan dan umur layanan suatu bangunan. Pondasi berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah dasar, sehingga kualitas dan karakteristik tanah menjadi faktor penentu utama. Daya dukung tanah didefinisikan sebagai kemampuan tanah untuk menahan beban tanpa mengalami keruntuhan geser, sedangkan penurunan tanah adalah deformasi vertikal yang terjadi akibat beban yang bekerja di atasnya. Penurunan yang melebihi batas izin dapat menimbulkan retak pada struktur, gangguan fungsi bangunan, bahkan kegagalan konstruksi dalam jangka panjang [1].

Kajian daya dukung dan penurunan pondasi telah banyak dilakukan. Azizi et al. (2020) meneliti penurunan pondasi tiang pancang pada Gedung DPRD Kabupaten Pemalang dengan metode Meyerhof dan Vesic; hasilnya menunjukkan pondasi aman terhadap beban yang bekerja. Fakhruddin et al. (2022) menganalisis daya dukung dan penurunan pondasi bored pile menggunakan program AllPile 7.3B pada proyek Jalan Bebas Hambatan Cisumdawu. Ramdhany & Permana (2021) mengkaji pondasi bored pile pada proyek kereta cepat Indonesia–China dengan metode Meyerhof, Reese & O'Neil, serta Vesic. Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada bangunan gedung atau infrastruktur transportasi, sehingga kajian khusus pada bangunan instalasi pengolahan air minum (IPAM) masih terbatas [2][3][4].

Kota Surabaya sebagai salah satu kota metropolitan menghadapi tantangan penyediaan air minum bersih dan berkelanjutan. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, dibangun Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karangpilang IV sebagai proyek strategis dengan nilai kontrak Rp 141.080.000.000,00. IPAM ini dirancang beroperasi dalam jangka panjang dengan beban struktur signifikan, termasuk beban air sebesar 49,05 kN/m². Berdasarkan hasil investigasi tanah, kondisi tanah didominasi lapisan lempung lunak yang membutuhkan fondasi tiang pancang dalam. Penelitian ini menjadi relevan karena IPAM Karangpilang IV dikategorikan sebagai Kategori Risiko IV—bangunan yang kegagalannya berpengaruh langsung pada keselamatan jiwa masyarakat [5][6].

Tujuan penelitian ini adalah: (1) mengetahui pembebanan struktur atas menggunakan ETABS 2022; (2) menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT titik BH-02; (3) menentukan dimensi optimal fondasi tiang pancang; (4) mengetahui penurunan pondasi berdasarkan analisis analitis dan Plaxis 2D; serta (5)

menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan fondasi.

2. METODE

2.1 Lokasi dan Data Penelitian

Penelitian dilakukan pada proyek Pembangunan Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) PDAM Surya Sembada Karang Pilang IV, berlokasi di Jl. Raya Mastrip No. 56a, Warugunung, Kec. Karangpilang, Surabaya, Jawa Timur. Area proyek seluas ±1,5 ha dengan kontraktor pelaksana Gala-BWWATER–Cakra Buana KSO. Data yang digunakan meliputi data N-SPT pada titik BH-02 dari PT Geocipta Eka Setia (kedalaman 30 meter), data uji laboratorium pada tiga kedalaman, gambar kerja struktur (denah kolom, potongan melintang dan memanjang), serta spesifikasi teknis bangunan.

2.2 Data Teknis Struktur

Spesifikasi teknis utama bangunan IPAM Karangpilang IV meliputi tinggi bangunan +11,750 m, dimensi kolom utama K1 (1.000 × 1.000 mm), K2 (850 × 800 mm), K3 (900 × 900 mm), balok B1 (800 × 700 mm), dinding geser D = 300 mm, pelat tebal 300 mm, mutu beton $f'_c = 29,05$ MPa, baja tulangan $f_y = 420$ MPa (ulir) dan 280 MPa (polos). Kombinasi beban mengacu SNI 1726:2019 (gempa) dan SNI 1727:2020 (beban minimum), meliputi beban mati sendiri, beban mati tambahan (screed, MEP, peralatan dinamis, dan beban air 49,05 kN/m²), serta beban hidup penuh L_o tanpa reduksi karena bangunan berstatus Kategori Risiko IV.

2.3 Metode Perhitungan

Analisis pembebanan struktur dilakukan menggunakan program ETABS 2022 untuk mendapatkan gaya aksial, geser, dan momen di setiap kolom. Daya dukung ujung tiang (Q_p) dihitung menggunakan rata-rata hasil Metode Meyerhof dan Vesic, sementara daya dukung selimut (Q_s) dihitung dengan Metode Alpha Tomlinson (Persamaan 1):

$$Q_s = \sum (p \times L \times f) = \sum (p \times L \times \alpha \times C_u) \quad (1)$$

di mana p adalah keliling tiang, L tebal lapisan, α faktor adhesif berdasarkan nilai C_u tiap lapisan, dan C_u kohesi undrained tanah. Kapasitas izin tiang tunggal $Q_{all} = Q_u/SF$ dengan $SF = 3$. Untuk kelompok tiang, daya dukung diperoleh dari nilai terkecil antara aksi individu dan blok kesatuan. Penurunan fondasi dihitung secara analitis (elastik tiang tunggal $S_1+S_2+S_3$ dan konsolidasi) serta divalidasi menggunakan Plaxis 2D. Batas penurunan izin mengacu SNI 8460:2017. Perencanaan pile cap mencakup kontrol geser 1-arah dan 2-arah serta perhitungan penulangan lentur. RAB

disusun berdasarkan Analisis Harga Satuan Pekerjaan PUPR Tahun 2024.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Tanah dan Koreksi N-SPT

Data N-SPT dari titik BH-02 menunjukkan tanah pada lapisan 0–2 m memiliki nilai $N = 0$ (lempung lunak) hingga $N = 23$ pada kedalaman 26,5–28,5 m. Koreksi nilai N_{60} dilakukan menggunakan faktor alat $E_r = 0,5$ (China Donut), $C_b = C_s = C_r = 1$, sehingga $N_{60} = (E_r \times C_b \times C_r \times C_s \times N) / 60$.

Tabel 1. Rekapitulasi Data N-SPT Titik BH-02

No.	Kedalaman (m)	N-SPT	N60	Deskripsi Tanah
1	0 – 2,0	0	0,00	Lempung lunak, coklat
2	2,0 – 4,5	3	3	Lempung, coklat, lunak
3	4,5 – 6,0	3	3	Lempung, coklat, lunak
4	6,0 – 8,5	7	6	Lempung pasir, konsistensi sangat teguh
5	8,5 – 10,5	10	9	Lempung pasir, konsistensi sangat teguh
6	10,5 – 12,5	12	10	Lempung pasir, abu-abu, sangat teguh
7	12,5 – 14,5	12	10	Lempung pasir, abu-abu, sangat teguh
8	14,5 – 16,5	15	13	Lempung, abu-abu, keras
9	16,5 – 18,5	17	15	Lempung, abu-abu, keras
10	18,5 – 20,5	18	15	Lempung, abu-abu, keras
11	20,5 – 22,5	16	14	Lempung, abu-abu, keras
12	22,5 – 24,5	21	18	Lempung, abu-abu, keras
13	24,5 – 26,5	20	17	Lempung pasir, konsistensi keras

14	26,5 – 28,5	23	20	Lempung pasir, konsistensi keras
15	28,5 – 30,0	22	19	Lempung pasir, konsistensi keras

Sumber: PT Geocipta Eka Setia (2024)

Uji laboratorium dilakukan pada tiga kedalaman sampel. Parameter tanah utama disajikan pada Tabel 2. Jenis tanah dominan adalah lempung (CH/MH) dengan plastisitas tinggi, kohesi undrained rendah pada lapisan dangkal, dan meningkat signifikan di kedalaman >20 m.

Tabel 2. Hasil Uji Laboratorium Titik BH-02

Parameter	Satuan	1,50–2,00 m	5,50–6,00 m	9,50–10,00 m
Water Content (w)	%	29,79	47,11	46,79
Unit Weight (γ)	t/m ³	1,767	1,709	1,677
Dry Density (γ_d)	t/m ³	1,362	1,161	1,142
Void Ratio (e)	-	0,925	1,263	1,272
Liquid Limit (LL)	%	76,63	61,33	83,19
Plastic Limit (PL)	%	32,68	34,59	38,28
Plasticity Index (PI)	%	43,95	26,73	44,91
Klasifikasi (USCS)	-	CH	MH	CH
qu (UU)	kg/cm ²	7,92	6,02	10,49
c (UU)	kg/cm ²	0,24	0,14	0,20

Sumber: PT Geocipta Eka Setia (2024)

3.2 Analisis Pembebanan Struktur Atas

Pembebanan struktur atas dianalisis dengan ETABS 2022. Beban mati tambahan total sebesar 59,25 kN/m², terdiri dari: screed lantai 0,42 kN/m², MEP 0,20 kN/m², beban dinamis peralatan 9,58 kN/m², dan beban air 49,05 kN/m². Beban hidup ditetapkan penuh (tanpa reduksi) sesuai Kategori Risiko IV: ruang pompa 11,57 kN/m² dan platform maintenance 9,58 kN/m². Beban gempa dihitung menggunakan data lokasi Kota Surabaya dengan kategori situs SC dan faktor keutamaan $I_e = 1,5$ sesuai Kategori Risiko IV.

Dari hasil analisis ETABS 2022, kolom yang menerima gaya aksial terbesar adalah Kolom 176 dengan $F_z = 4.224,95$ kN (ASD) dan $F_z = 5.622,08$ kN (LRFD). Nilai ASD digunakan sebagai beban kerja untuk perencanaan daya

dukung tanah, sedangkan nilai LRFD digunakan untuk desain struktural pile cap.

3.3 Daya Dukung Tiang Tunggal

Perhitungan daya dukung ujung tiang (Q_p) menggunakan rata-rata dari dua metode: Metode Meyerhof ($Q_p = 9 \times C_u \times A_p$) dan Metode Vesic ($Q_p = A_p \times (c \times N_c^* + \sigma'_0 \times N_\sigma^*)$), yang keduanya dievaluasi pada kedalaman ujung tiang 23 m menggunakan nilai $C_u = 109,80 \text{ kN/m}^2$ dari korelasi data N-SPT. Penggunaan rata-rata dua metode bertujuan untuk mengurangi ketidakpastian yang melekat pada masing-masing metode empiris. Daya dukung selimut (Q_s) dihitung menggunakan metode Alpha Tomlinson dengan memperhitungkan kontribusi gesekan selimut pada seluruh lapisan tanah dari permukaan hingga ujung tiang. Faktor adhesif α ditentukan berdasarkan nilai C_u pada setiap lapisan sesuai korelasi Tomlinson. Kapasitas ultimit tiang ($Q_u = Q_p + Q_s$) kemudian dibagi faktor keamanan $SF = 3$ untuk mendapatkan kapasitas izin (Q_{all}). Rekapitulasi daya dukung izin untuk tiga variasi diameter dengan panjang tiang 23 m disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Daya Dukung Izin Tiang Tunggal (L = 23 m)

Diameter r (m)	Panjang g (m)	Q_p (kN)	Q_s (kN)	Q_u (kN)	Q_{all} Tiang Tunggal (kN)
0,4	23	593,24	731,54	1.324,77	441,59
0,6	23	1.273,32	1.158,77	2.432,09	810,70
0,8	23	1.778,08	2.057,93	3.836,01	1.278,67

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan Daya Dukung Izin Tiang Tunggal

Seluruh nilai Q_{all} tiang tunggal (441,59 kN; 810,70 kN; dan 1.278,67 kN) lebih kecil dari beban aksial kolom 176 sebesar 4.224,95 kN (ASD), sehingga penggunaan tiang tunggal tidak memungkinkan dan diperlukan kelompok tiang untuk memikul beban struktur secara aman.

3.4 Daya Dukung Kelompok Tiang

Kebutuhan jumlah tiang per kelompok dihitung berdasarkan perbandingan beban kolom dengan kapasitas tiang tunggal ($n = P/Q_{all}$) yang kemudian dibulatkan ke atas. Jarak antar tiang ditetapkan $s = 3D$ ($3 \times \text{diameter}$) sesuai rekomendasi untuk tiang beton precast guna meminimalkan efek gangguan antar tiang. Daya dukung kelompok ditentukan dari nilai terkecil antara: (1) keruntuhan aksi individu, yaitu $n \times Q_{all}$ dengan memperhitungkan efisiensi kelompok; dan (2) keruntuhan blok kesatuan (block failure),

yaitu daya dukung dari seluruh area blok tiang sebagai satu kesatuan. Pemilihan konfigurasi optimal didasarkan pada efisiensi pelaksanaan, yakni konfigurasi dengan jumlah tiang paling sedikit yang masih memenuhi syarat keamanan ($Q_{all}(g) > F_z \text{ ASD}$). Rekapitulasi hasil perhitungan kelompok tiang untuk semua variasi diameter disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Daya Dukung Kelompok Tiang dan Status Keamanan

Diameter (m)	Q_{all} Tunggal (kN)	Jumlah Tiang	Q_{all} Kelompok (kN)	Beban $F_z \text{ ASD}$ (kN)	Status
0,4	441,59	10	4.415,91	4.224,95	AMAN
0,6	810,70	6	4.864,172	4.224,95	AMAN
0,8	1.278,67	4	5.114,688	4.224,95	AMAN

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok

Diameter 0,8 m dengan 4 tiang per kelompok dipilih sebagai konfigurasi optimal karena memiliki jumlah tiang paling sedikit sehingga lebih praktis dan ekonomis dalam pelaksanaan, dengan daya dukung kelompok 5.114,688 kN $>$ $F_z \text{ ASD}$ 4.224,95 kN (aman).

3.5 Perencanaan Pile Cap

Pile cap direncanakan untuk konfigurasi 4 tiang diameter 0,8 m dengan jarak antar tiang $s = 2,4 \text{ m}$ ($= 3D$). Dimensi pile cap yang diperoleh adalah $5,6 \text{ m} \times 5,6 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}$. Kontrol geser 1-arah: $V_n = \phi \times V_c = 4.256.400 \text{ N} > V_u = 2.316.144 \text{ N}$ (aman). Kontrol geser 2-arah: $V_n = 37.990.368 \text{ N} > V_u = 3.527.440 \text{ N}$ (aman). Penulangan lentur pile cap menggunakan tulangan D25-200 sebanyak 29 batang dengan kapasitas momen nominal $\phi M_n = 3.246.768.925 \text{ N/mm} > M_u = 6.638.292 \text{ N/mm}$ (aman).

3.6 Penurunan Fondasi Tiang Pancang

Penurunan fondasi dihitung secara analitis dan divalidasi menggunakan pemodelan numerik Plaxis 2D. Analisis penurunan analitis mencakup dua komponen: (1) penurunan elastik tiang tunggal yang dihitung menggunakan metode Vesic dengan komponen S1 (pemendekan elastik batang tiang), S2 (penurunan akibat beban di ujung tiang), dan S3 (penurunan akibat beban selimut sepanjang tiang); serta (2) penurunan konsolidasi kelompok tiang yang dihitung menggunakan pendekatan beban ekuivalen terdistribusi mulai dari kedalaman $2/3$ panjang tiang ($= 15,33 \text{ m}$ dari permukaan). Analisis konsolidasi memperhitungkan status OCR tanah yang diperoleh dari perbandingan tegangan prakonsolidasi $\sigma'_c = 47 \times N_{60}$ dengan tegangan efektif vertikal σ'_0 . Hasil menunjukkan seluruh lapisan yang ditinjau berstatus Overconsolidated ($OCR > 1$), sehingga penurunan

konsolidasi dihitung menggunakan formula khusus untuk tanah OCR. Rekapitulasi penurunan untuk diameter terpilih 0,8 m disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Penurunan Fondasi Diameter 0,8 m

Diameter (m)	Elastisitas Tunggal (cm)	Kelompok (cm)	Konsolidasi (cm)	Total Analitis (cm)	Plaxis 2D (cm)	S Izin (cm)
0,8	0,530	3,7	3,22	3,22	2,02	19,5

Sumber: Hasil Analisis Perhitungan Konsolidasi dan Plaxis 2D

Penurunan analitis sebesar 3,218 cm dan penurunan hasil Plaxis 2D sebesar 2,019 cm keduanya berada jauh di bawah batas penurunan izin SNI 8460:2017 sebesar 19,45 cm untuk bangunan dengan fondasi tiang pada tanah lempung. Hal ini membuktikan bahwa konfigurasi terpilih (D0,8 m, 4 tiang, panjang 23 m) aman terhadap penurunan. Selisih antara hasil analitis (3,218 cm) dan Plaxis 2D (2,019 cm) disebabkan oleh perbedaan asumsi model tanah. Analisis analitis menggunakan parameter elastis linier sederhana, sedangkan Plaxis 2D menggunakan model Hardening Soil yang mampu menangkap perilaku non-linier tanah lempung lunak secara lebih komprehensif, termasuk efek pengerasan tegangan dan tegangan prekonsolidasi. Model Hardening Soil umumnya menghasilkan prediksi penurunan yang lebih realistis pada tanah lempung berplastisitas tinggi seperti di lokasi proyek ini. Kedua pendekatan konsisten dalam menunjukkan bahwa fondasi terpilih memenuhi syarat penurunan izin dengan margin keamanan yang sangat besar (rasio S/S_{izin} < 17%).

3.7 Metode Pelaksanaan Fondasi

Tiang pancang yang digunakan adalah jenis beton pratekan (spun pile/precast prestressed concrete pile) berdiameter 0,8 m dengan mutu PC 52 (kapasitas desain 3.625 kN) panjang 23 m. Metode pemancangan menggunakan sistem jack-in pile (hydraulic jacking system) yang lebih ramah lingkungan dan minim getaran maupun kebisingan dibandingkan metode drop hammer, sehingga sesuai untuk lokasi perkotaan. Urutan pekerjaan fondasi adalah sebagai berikut: (1) Pekerjaan Persiapan, meliputi survei dan pengukuran ulang (uitzet) untuk menentukan koordinat titik pancang sesuai shop drawing, pembersihan lahan dari vegetasi dan material pengganggu, serta pemasangan patok/bouwplank sebagai acuan posisi pemancangan; (2) Pekerjaan Tanah, meliputi galian tanah di sekitar titik tiang untuk membentuk area kerja pile cap dan urugan kembali setelah pile cap selesai dicor; (3) Pekerjaan

Fondasi Tiang Pancang, meliputi pengadaan dan mobilisasi tiang dari pabrik ke lokasi proyek, proses pemancangan jack-in hingga kedalaman 23 m atau mencapai tekanan akhir yang disyaratkan, dan pembobokan kepala tiang (chipping) untuk mengekspos tulangan yang akan menyatu dengan pile cap; serta (4) Pengujian PDA (Pile Dynamic Analysis) pada minimum 3 titik tiang kontrol untuk memverifikasi kapasitas daya dukung aktual tiang terpancang dan mendeteksi potensi kerusakan badan tiang. Hasil PDA divalidasi lebih lanjut menggunakan analisis CAPWAP untuk distribusi resistensi tanah yang lebih akurat.

3.8 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

RAB disusun berdasarkan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) PUPR Tahun 2024. Pekerjaan fondasi mencakup empat kelompok utama: pekerjaan persiapan, pekerjaan tanah, pekerjaan fondasi tiang pancang (pengadaan, pemancangan, pembobokan, PDA), dan pekerjaan pengecoran pile cap. Rekapitulasi RAB disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB)

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah (Rp)
I	Pekerjaan Persiapan	109.925.086
II	Pekerjaan Tanah	38.328.151
III	Pekerjaan Fondasi Tiang Pancang	1.259.508.497
IV	Pekerjaan Pengecoran (Pile Cap)	2.177.547.875
Total RAB (dibulatkan)		Rp 3.979.000.000,00

Sumber: Hasil Perhitungan RAB

Total RAB pekerjaan fondasi sebesar Rp 3.979.000.000,00 (Tiga Milyar Sembilan Ratus Tujuh Puluh Sembilan Juta Rupiah). Komponen biaya terbesar adalah pekerjaan pengecoran pile cap sebesar Rp 2.177.547.875 (54,72% dari total RAB), yang mencakup pengadaan material beton, besi tulangan D25-200, bekisting multiplex, dan biaya tenaga kerja pengecoran. Komponen kedua terbesar adalah pekerjaan fondasi tiang pancang sebesar Rp 1.259.508.497 (31,65%), yang meliputi pengadaan tiang spun pile PC 52 diameter 0,8 m, biaya jasa pemancangan jack-in, pengujian PDA, dan pembobokan kepala tiang. Pekerjaan persiapan (survei, pengukuran, dan bouwplank) senilai Rp 109.925.086 (2,76%) dan pekerjaan tanah (galian dan urugan) senilai Rp 38.328.151 (0,96%). Nilai RAB ini bersifat estimasi dan dapat berubah sesuai kondisi lapangan, fluktuasi harga material, dan kebutuhan pengujian tambahan di luar lingkup yang direncanakan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembebanan struktur atas dianalisis dengan ETABS 2022 menggunakan kombinasi beban ASD dan LRFD (SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019). Kolom 176 menerima gaya aksial terbesar: $F_z = 4.224,95$ kN (ASD, untuk perencanaan daya dukung tanah) dan $F_z = 5.622,08$ kN (LRFD, untuk desain pile cap). Beban hidup tidak direduksi karena bangunan berstatus Kategori Risiko IV.
2. Daya dukung izin tiang tunggal ($SF = 3$) untuk panjang tiang 23 m menggunakan rata-rata metode Meyerhof–Vesic untuk Q_p dan metode Alpha Tomlinson untuk Q_s adalah: $Q_{all} = 441,59$ kN ($\varnothing 0,4$ m); $810,70$ kN ($\varnothing 0,6$ m); dan $1.278,67$ kN ($\varnothing 0,8$ m). Seluruh nilai Q_{all} lebih kecil dari beban kolom $4.224,95$ kN, sehingga diperlukan kelompok tiang dengan jumlah masing-masing 10 tiang ($\varnothing 0,4$ m), 6 tiang ($\varnothing 0,6$ m), dan 4 tiang ($\varnothing 0,8$ m). Daya dukung kelompok seluruh konfigurasi dinyatakan aman ($Q_{all(g)} > F_z$ ASD).
3. Konfigurasi optimal adalah diameter 0,8 m (panjang 23 m, 4 tiang per kelompok) karena paling sedikit jumlah tiangnya. Pile cap berukuran $5,6$ m $\times$ $5,6$ m $\times$ $0,7$ m dengan tulangan D25-200 (29 batang) aman terhadap geser 1-arah, geser 2-arah, dan lentur.
4. Penurunan fondasi untuk diameter 0,8 m dengan 4 tiang panjang 23 m adalah 3,218 cm secara analitis (metode Vesic, mencakup penurunan elastik dan konsolidasi) dan 2,019 cm berdasarkan pemodelan Plaxis 2D dengan model Hardening Soil. Keduanya berada jauh di bawah batas penurunan izin 19,45 cm sesuai SNI 8460:2017 (rasio $S/S_{izin} < 17\%$), sehingga fondasi dinyatakan aman terhadap penurunan. Perbedaan kedua hasil mencerminkan keunggulan model Hardening Soil dalam menangkap perilaku non-linier tanah lempung overconsolidated.
5. RAB pekerjaan fondasi total sebesar Rp 3.979.000.000,00 (Tiga Miliar Sembilan Ratus Tujuh Puluh Sembilan Juta Rupiah) berdasarkan AHSP PUPR Tahun 2024. Komponen terbesar adalah pengecoran pile cap (54,72%, Rp 2.177.547.875) dan pekerjaan tiang pancang (31,65%, Rp 1.259.508.497). Nilai ini merupakan estimasi untuk lingkup pekerjaan persiapan, tanah, tiang pancang, dan pile cap dan dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. C. Hardiyatmo, Analisis dan Perancangan Fondasi II, edisi ke-3. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2015.
- [2] Azizi, M., et al., "Analisis Penurunan Pondasi Tiang Pancang pada Gedung DPRD Kabupaten Pemalang dengan Metode Meyerhof dan Vesic," J. Rekayasa Sipil, vol. 14, no. 2, 2020.
- [3] Fakhrudin, A., et al., "Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Bored Pile Jalan Bebas Hambatan Cismudawu menggunakan AllPile 7.3B," J. Geoteknik Indonesia, vol. 6, no. 1, 2022.
- [4] Ramdhany, R. & Permana, D., "Analisis Pondasi Bored Pile Proyek Kereta Cepat Indonesia–China Berdasarkan Data N-SPT," J. Konstruksi, vol. 19, no. 2, 2021.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: BSN, 2019.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: BSN, 2020.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta: BSN, 2017.
- [8] B. M. Das, Principles of Foundation Engineering, 9th ed. Stamford, CT: Cengage Learning, 2019.
- [9] J. E. Bowles, Foundation Analysis and Design, 5th ed. Singapore: McGraw-Hill, 1997.
- [10] K. U. Adisanjaya, M. Sholeh, dan D. Novianto, "Analisis Perbandingan Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang dan Tiang Bor Berdasarkan Perhitungan dan Uji Lapangan," JOS-MRK, vol. 2, no. 3, hal. 36–43, 2021.
- [11] R. S. Warman, Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi. Jakarta: Kementerian PUPR Ditjen Bina Marga, 2019.
- [12] Kementerian PUPR, Analisa Harga Satuan Pekerjaan PUPR Tahun 2024. Jakarta: Kementerian PUPR, 2024.