

ANALISIS FONDASI BORED PILE PADA PILAR 3 JEMBATAN PAITON 2 STA. 28+600 PROYEK TOL PROBOWANGI

Moch. Aril Asyhari Putra¹, Dyah Ayu Rahmawati Cupasindy²

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang²

Email: moch.arilasyhariputra@gmail.com¹, dyahayu.rahmawati@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi merupakan Proyek Tol Trans Jawa yang dibangun dari Pulo Merak hingga Banyuwangi dengan panjang 1.167 km. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis daya dukung dan penurunan fondasi bored pile secara manual dengan dua variasi dimensi, yaitu eksisting (1,2 m) dan perencanaan baru (0,8; 1,0; 1,3 meter) pada dua variasi kedalaman, yaitu eksisting (15 m) dan perencanaan baru (12; 20 m) berdasarkan data Standart Penetration Test (SPT) BH-28600. Analisis dilakukan menggunakan Metode Meyerhoff (1976) untuk daya dukung tiang tunggal, serta Metode Vesic (1969) untuk penurunannya. Berdasarkan hasil pembebanan menggunakan program SAP2000 V24 dan Manual menurut SNI 1725:2016 didapatkan beban aksial terbesar yaitu $Q_v = 24257,458$ kN (SAP2000) dan $Q_v = 24274,75$ kN (Manual). Dari perhitungan yang sudah dilakukan, maka didapatkan alternatif fondasi dengan memanfaatkan metode rasional dan didapatkan konfigurasi fondasi dengan diameter 1,0 m dan kedalaman 15 m. Hasil konfigurasi fondasi tersebut dari perhitungan manual mendapatkan nilai $Q_{u(g)} = 113971,89$ kN, $S_{e(g)}$ Vesic = 0,0397 m, dan $S_{e(g)}$ Meyerhoff = 0,0846 m. Dari hasil implementasi menggunakan bantuan software BIM dalam menyusun penjadwalan pekerjaan fondasi bored pile didapatkan 26 hari kerja dan dilakukan simulasi clash detection yang tidak ditemukan clash antar pekerjaan yang berarti pekerjaan yang direncanakan sudah sesuai dengan peraturan yang ada.

Kata kunci : Bored Pile, Daya Dukung, Penurunan, SAP2000, BIM.

ABSTRACT

The Probolinggo–Banyuwangi Toll Road Project is part of the Trans-Java Toll Road, extending from Pulo Merak to Banyuwangi with a total length of 1,167 km. The purpose of this study is to analyze the bearing capacity and settlement of bored pile foundations manually with two dimensional variations, namely existing (1,2 m) and new planning (0,8; 1,0; 1,3 m) at two depth variations, namely existing (15 m) and new planning (12; 20 m) based on Standard Penetration Test data (SPT) BH-28600. The analysis was carried out using the Meyerhof Method (1976) for the bearing capacity of a single pile, and the Vesic Method (1969) for settlement. Based on the results of loading using the SAP2000 program manual calculations in accordance with SNI 1725:2016, the largest axial load was obtained, those are $Q_v = 24257,458$ kN (SAP2000) and $Q_v = 24274,75$ kN (Manual). After the calculation, an alternative foundation configuration is obtained by utilizing the rational method: 1,0 m at 15 m depth. Manual calculations showed a bearing capacity of $Q_{u(g)} = 113971,89$ kN, settlement of $S_{e(g)}$ Vesic = 0,0397 m, and $S_{e(g)}$ Meyerhoff = 0,0846 m. From the results of implementation using BIM software assistance in scheduling bored pile foundation works, a total project duration of 26 working days was determined and clash detection simulations confirmed zero workflow conflicts, validating compliance with project specifications.

Keywords : Bored Pile, Bearing Capacity, Settlement, SAP2000, BIM

1. PENDAHULUAN

Proyek Pembangunan Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi dibangun guna meningkatkan konektivitas antar wilayah, sehingga memacu pertumbuhan ekonomi nasional lebih maju. Tol Probolinggo-Banyuwangi adalah bagian dari Proyek Tol Trans Jawa yang dibangun dari Pulo Merak sampai dengan Banyuwangi dengan panjang 1.167 km. Jalan

Tol Probowangi ini direncanakan memiliki panjang total 172,91 km, yang akan menghubungkan 3 kota yakni Probolinggo, Situbondo, dan Banyuwangi. Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi terbagi dalam enam seksi, seksi I Kraksaan-Paiton (22,5 km), seksi II Paiton-Besuki (23,6 km), seksi III Besuki-Situbondo (49,68 km), seksi IV Situbondo-

Asembagus (17,6 km), seksi V Asembagus-Bajulmati (37,9 km), dan seksi VI Bajulmati-Ketapang (28,51 km).

Pada Tol Probolinggo-Banyuwangi seksi 3 memiliki panjang 49,68 km yang dikerjakan oleh PT. PP, PT Waskita, dan PT Wijaya Karya KSO. Pada Jembatan Paiton 2 di STA. 28+600 seksi 3 memiliki kondisi eksisting yang cukup curam, sehingga mengakibatkan penggunaan pier jembatan paling tinggi pada 39,7 m. Dengan memiliki panjang jembatan sebesar 229,5 m dibutuhkan 6 buah span dan 5 buah pier jembatan yang dihubungkan oleh 2 abutment. Kondisi tanah pada area jembatan memiliki konsistensi tanah keras yang dapat ditunjukkan pada nilai NSPT lebih dari 60, tetapi pada kedalaman 7 m terdapat pasir kerikil lempungan yang dapat menurunkan nilai daya dukung dan meningkatkan penurunan. Maka dari itu struktur bawah jembatan harus mampu meneruskan beban-beban dari atas (beban mati, beban hidup, beban angin, beban hujan, dan beban gempa) serta beratnya sendiri ke dalam tanah, dan menjaga kestabilan dan kekakuan, sehingga mencegah terjadinya keruntuhan dalam jangka waktu yang lama.

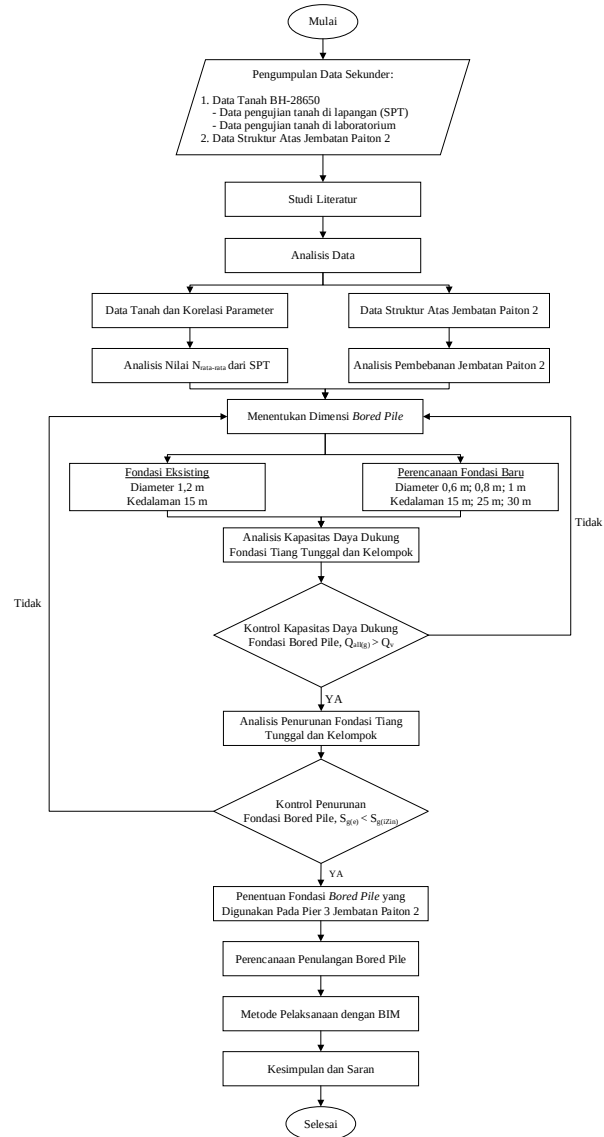
Perencanaan fondasi Jembatan Paiton 2 seksi 3 menggunakan peraturan (SNI 03-6747:2002, 2002) dan (SNI 1725:2016, 2016), serta Spesifikasi Umum Paket 3 STA. 20+200-STA. 45+800 yang diterbitkan oleh (Jasa Marga Probolinggo-Banyuwangi, 2020) sebagai standar untuk digunakan dalam mendesain jalan tol. Fondasi bored pile dengan diameter 1,2 m pada Jembatan Paiton 2 digunakan untuk meningkatkan stabilitas dan mencegah penurunan atau pergeseran. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan pengkajian ulang perencanaan fondasi bored pile menggunakan bantuan *software* Plaxis 3D dan perhitungan manual untuk mengetahui dimensi dan kedalaman yang lebih efisien. Dengan implementasi *Building Information Modelling* (BIM) didapatkan hasil analisis metode konstruksi terhadap model yang direncanakan sehingga dapat mengoptimalkan analisa kinerja terhadap waktu pelaksanaan.

2. METODE

Adapun rencana yang digunakan pada tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mengumpulkan data sekunder, yaitu data SPT BH-28600 dan data struktur atas.
- Melakukan studi literatur dengan mengumpulkan materi dan referensi yang berkaitan dengan penelitian.
- Menganalisis data-data yang diperoleh, yaitu data tanah dan korelasinya serta data struktur atas Jembatan Paiton 2.
- Menentukan dimensi fondasi *bored pile* yang akan dianalisis.

- Menganalisis kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi tiang tunggal dan kelompok tiang.
- Menentukan desain fondasi *bored pile* yang akan digunakan pada Tower A.
- Merencanakan tulangan *bored pile* dan *raft foundation*.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal

Menurut Das (2017), kapasitas daya dukung tanah merepresentasikan kemampuan suatu tanah untuk menahan beban maksimum dari struktur di atasnya tanpa mengalami keruntuhan geser atau deformasi berlebihan. Dalam konteks fondasi tiang tunggal, besaran kapasitas daya dukung tersebut dapat ditentukan melalui penerapan dua metode analisis berikut.

- Metode Meyerhof (1976)

- Tanah Kohesif (*Clay*)

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \quad (1)$$

$$Q_s = \alpha \times C_u \times p \times \Delta L \quad (2)$$

- Tanah Non Kohesif (*Sand*)

$$Q_p = A_p \times q' \times N_q^* \leq A_p \times q_1 \quad (3)$$

$$Q_s = 0,01 \times p_a \times N_{60} \times p \times \Delta L \quad (4)$$

Dengan:

Q_p = Kapasitas daya dukung ujung tiang (kN)

Q_s = Kapasitas daya dukung selimut tiang (kN)

A_p = Luas penampang *bored pile* (m²)

p = Keliling tiang (m)

ΔL = Selisih kedalaman (m)

D = Diameter tiang (m)

C_u = Kohesi *undrained* (kN/m³)

α = Faktor adhesi

N_q^* = Nilai Koreksi pada sudut geser

q_1 = Titik Batas Resistensi

p_a = Tekanan atmosfer (100 kN/m²)

p = Keliling penampang tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

E_s = Modulus elastisitas tanah

μ = *Poisson ratio* tanah

I_{wp} = Faktor konstanta = 0,85

Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan kelompok tiang tanah berpasir hanya menggunakan formula metode Meyerhof (1976) dan Vesic (1977) berikut ini.

- Mayerhoff 1976

$$S_{g(e)} = \frac{0,96 \times q \times \sqrt{B_g} \times l}{N_{60}} \quad (11)$$

- Vesic 1977

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} \times S_e \quad (12)$$

- Penurunan Izin (SNI 8640 2017)

$$S_{g(izin)} = 15 + \frac{B}{600} \quad (13)$$

Dengan:

$S_{g(e)}$ = Penurunan elastis kelompok tiang (m)

$S_{g(izin)}$ = Penurunan izin kelompok tiang (m)

q = $Q_{ug}/(L_g \times B_g)$ (kN/m²)

B_g = Lebar *pile cap* (m)

B = Panjang total dari tepi tiang ke tepi tiang (m)

N_{60} = N_{SPt} terkoreksi (m)

D = Diameter tiang (m)

Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

Kapasitas daya dukung kelompok tiang pada jenis tanah berpasir dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$Q_{u(g)} = E_g \times n \times Q_u \quad (5)$$

$$Q_{all(g)} = \frac{Q_{u(g)}}{SF} \quad (6)$$

Dengan:

$Q_{u(g)}$ = Kapasitas daya dukung kelompok tiang (kN)

$Q_{all(g)}$ = Kapasitas daya dukung izin kelompok tiang (kN)

n = Jumlah tiang (tiang)

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal (kN)

SF = Faktor keamanan (*Safety Factor*)

Penurunan Tiang Tunggal

Menurut Braja M. Das (2017), perhitungan penurunan tiang tunggal yang disarankan oleh Vesic (1977) dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (7)$$

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \epsilon Q_{ws}) \times L}{A_p \times E_p} \quad (8)$$

$$S_{e(2)} = \left(\frac{q_{wp} \times D}{E_s} \right) \times (1 - \mu^2) \times I_{wp} \quad (9)$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{p \times L} \right) \times \left(\frac{D}{E_s} \right) \times (1 - \mu^2) \times I_{ws} \quad (10)$$

Dengan:

S_e = Penurunan total elastis pondasi tiang tunggal (m)

$S_{e(1)}$ = Penurunan elastis *bored pile* (m)

$S_{e(2)}$ = Penurunan elastis akibat beban ujung tiang (m)

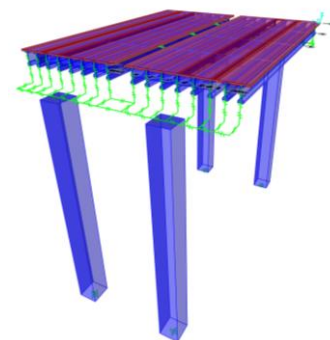
$S_{e(3)}$ = Penurunan elastis akibat beban selimut (m)

Q_{wp} = Kapasitas daya dukung ujung tiang (kN)

Q_{ws} = Kapasitas daya dukung selimut tiang (kN)

q_{wp} = Kapasitas daya dukung ujung tiap luasan (kN/m²)

A_p = Luas penampang tiang (m²)



Gambar 2 Pemodelan Jembatan pada *Software* SAP2000

A. Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal Metode Meyerhof (1976)

Perhitungan kapasitas daya dukung tiang tunggal metode Meyerhof (1976) pada *bored pile* Ø 0,80 m kedalaman 12 m adalah sebagai berikut.

1) Kapasitas Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p)

Ujung tiang berada pada tanah berjenis tanah pasir (tanah non kohesif).

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p \times q' \times N_q^* \leq A_p \times q_1 \\ &= 0,50 \times (12 \times 21,98) \times 56,7 \\ &= 7512,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dalam praktiknya, Mayerhoff (1976) telah membatasi nilai daya dukung pada *pile* tunggal untuk keamanan bangunan yang lebih kuat.

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p \times q' \\ &= 0,5 \times 0,5 \times 100,00 \times 56,70 \times 0,58 \\ &= 822,322 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) Kapasitas Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s)

a) Lapisan Tanah 1 (Tanah Kohesif)

$$\begin{aligned} Q_{s-1} &= p \times \Delta L \times \alpha \times C_u \\ &= 2,51 \times 1,00 \times 0,28 \times 378,00 \\ &= 264,71 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Lapisan Tanah 2 (Tanah Non Kohesif)

$$\begin{aligned} Q_{s-2} &= p \times \Delta L \times 0,01 \times p_a \times N_{60} \\ &= 2,51 \times 6,00 \times 0,01 \times 100,00 \times 63,00 \\ &= 309,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

c) Lapisan Tanah 3 (Tanah Kohesif)

$$\begin{aligned} Q_{s-3} &= p \times \Delta L \times \alpha \times C_u \\ &= 2,51 \times 5,00 \times 0,28 \times 378,00 \\ &= 1323,57 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$Q_{s \text{ total}} = 1588,29 \text{ kN}$$

3) Kapasitas Daya Dukung Ultimit Tiang (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p \text{ total} + Q_s \text{ total} \\ &= 822,32 \text{ kN} + 2537,82 \text{ kN} \\ &= 3360,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

4) Kapasitas Daya Dukung Izin Tiang (Q_{all})

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{3360,15 \text{ kN}}{3,00} \\ &= 1120,05 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berikut ini disajikan **Tabel 2** yang merupakan rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas daya dukung tiang tunggal dengan menggunakan metode Mayerhoff (1976) dan perhitungan dimensi lain mengikuti perhitungan yang telah dijabarkan di atas.

Table 1 Rekapitulasi Hasil Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal dengan Mayerhoff 1976

L (m)	D (m)	Q_p (kN)	Q_s (kN)	Q_u (kN)	Q_{all} (kN)
----------	----------	---------------	---------------	---------------	-------------------

12,00	0,80	822,32	2537,82	3360,15	1120,05
	1,00	1284,88	3172,28	4457,16	1485,72
	1,20	1850,23	3806,74	5656,96	1885,65
	1,30	2171,44	4123,96	6295,41	2098,47
15,00	0,80	822,32	3331,97	4154,29	1384,76
	1,00	1284,88	4164,96	5449,84	1816,61
	1,20	1850,23	4997,95	6848,18	2282,73
	1,30	2171,44	5414,45	7585,89	2528,63
20,00	0,80	822,32	4336,16	5158,49	1719,50
	1,00	1284,88	5420,21	6705,08	2235,03
	1,20	1850,23	6504,25	8354,47	2784,82
	1,30	2171,44	7046,27	9217,71	3072,57

Sumber: Hasil Analisis

B. Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

Perhitungan kapasitas daya dukung kelompok tiang untuk semua *bored pile* akan menggunakan 21 tiang dengan ketentuan ($n_1 = 7$ bh dan $n_2 = 3$ bh) dan menggunakan $L_g = 30$ m dan $B_g = 12$ m. Berikut ini contoh perhitungan pada fondasi Ø 0,80 m kedalaman 15 m adalah sebagai berikut.

1) Kapasitas Daya Dukung Ultimit Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} Q_{u(g)} &= E_g \times n \times Q_u \\ &= 0,99 \times 21,00 \times 4154,29 \\ &= 86948,51 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) Kapasitas Daya Dukung Izin Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} Q_{all(g)} &= \frac{Q_{u(g)}}{SF} \\ &= \frac{86948,51 \text{ kN}}{3,00} \\ &= 28982,84 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek:

$$\begin{aligned} Q_{all(g)} &> Q_v \\ &= 28982,84 \text{ kN} > 24257,46 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

Berikut ini disajikan **Tabel 2** yang merupakan rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas daya dukung kelompok tiang dan perhitungan dimensi lain mengikuti perhitungan yang telah dijabarkan di atas

Table 2 Rekapitulasi Hasil Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

L (m)	D (m)	E_g (%)	$Q_{u(g)}$ (kN)	$Q_{all(g)}$ (kN)	Cek
15,00	0,80	99,67%	70327,23	23442,41	TIDAK OK
	1,00	99,59%	93212,08	31070,69	OK
	1,20	99,51%	118209,94	39403,31	OK
	1,30	99,47%	131500,20	43833,40	OK
25,00	0,80	99,67%	86948,51	28982,84	OK
	1,00	99,36%	113971,89	37990,63	OK
	1,20	99,44%	143102,02	47700,67	OK
	1,30	99,47%	158456,17	52818,72	OK
30,00	0,80	99,67%	107966,17	35988,72	OK
	1,00	99,36%	140222,72	46740,91	OK
	1,20	99,44%	174578,13	58192,71	OK
	1,30	99,47%	192542,08	64180,69	OK

Sumber: Hasil Analisis

C. Penurunan Tiang Tunggal

Perhitungan penurunan tiang tunggal untuk *bored pile* Ø 0,80 m kedalaman 15 m menggunakan Metode Vesic (1977) adalah sebagai berikut.

1) Penurunan Elastis Bored Pile ($S_{e(1)}$)

$$\begin{aligned} S_{e(1)} &= \frac{(Q_{wp} + \epsilon Q_{ws}) \times L}{A_p \times E_p} \\ &= \frac{(822,32 + 2232,42) \times 15,00}{0,50 \times 97525000} \\ &= 0,0009 \text{ m} \end{aligned}$$

2) Penurunan Elastis Akibat Ujung Tiang ($S_{e(2)}$)

$$\begin{aligned} S_{e(2)} &= \left(\frac{q_{wp} \times D}{E_s} \right) \times (1 - \mu^2) \times I_{wp} \\ &= \left(\frac{557,48 \times 0,80}{200000,00} \right) \times (1 - 0,03^2) \times 0,85 \\ &= 0,0079 \text{ m} \end{aligned}$$

3) Penurunan Elastis Akibat Selimut Tiang ($S_{e(3)}$)

$$\begin{aligned} S_{e(3)} &= \left(\frac{Q_{ws}}{p \times L} \right) \times \left(\frac{D}{E_s} \right) \times (1 - \mu^2) \times I_{ws} \\ &= \left(\frac{3331,97}{2,51 \times 15,00} \right) \times \left(\frac{0,80}{200000,00} \right) \times \\ &\quad (1 - 0,03^2) \times 5,28 \\ &= 0,0017 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} S_e &= S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \\ &= 0,0009 \text{ m} + 0,0079 \text{ m} + 0,0017 \text{ m} \\ &= 0,0105 \text{ m} \end{aligned}$$

Berikut ini disajikan **Tabel 3** yang merupakan rekapitulasi hasil perhitungan penurunan dan perhitungan dimensi lain mengikuti perhitungan yang telah dijabarkan di atas.

Table 3 Rekapitulasi Hasil Penurunan Tiang Tunggal dengan Vesic 1977

L (m)	D (m)	$S_{e(1)}$ (m)	$S_{e(2)}$ (m)	$S_{e(3)}$ (m)	S_e (m)
12,00	0,80	0,0006	0,0051	0,0014	0,0071
	1,00	0,0005	0,0063	0,0016	0,0084
	1,20	0,0005	0,0076	0,0015	0,0096
	1,30	0,0005	0,0082	0,0018	0,0105
15,00	0,80	0,0009	0,0079	0,0017	0,0105
	1,00	0,0007	0,0041	0,0019	0,0066
	1,20	0,0006	0,0076	0,0020	0,0102
	1,30	0,0005	0,0031	0,0021	0,0057
20,00	0,80	0,0015	0,0051	0,0020	0,0086
	1,00	0,0012	0,0041	0,0022	0,0074
	1,20	0,0008	0,0029	0,0023	0,0060
	1,30	0,0009	0,0031	0,0024	0,0064

Sumber: Hasil Analisis

D. Penurunan Kelompok Tiang

Perhitungan penurunan kelompok tiang untuk *bored pile* Ø 0,80 m kedalaman 15 m adalah sebagai berikut.

1) Penurunan Kelompok Tiang Vesic 1977

$$\begin{aligned} S_{g(e)} &= \sqrt{\frac{B_g}{D}} \times S_e \\ &= \sqrt{\frac{12,00}{0,80}} \times 0,0105 \\ &= 0,08 \text{ m} \end{aligned}$$

2) Penurunan Kelompok Tiang Mayerhoff 1976

$$\begin{aligned} S_{g(e)} &= \frac{0,96 \times q \times \sqrt{B_g \times l}}{N_{60}} \\ &= \frac{0,96 \times \frac{86948,51 \times 10^{-1}}{(30 \times 12) \times 10^{-1}} \times \sqrt{12} \times 0,5}{63,00} \\ &= 0,051 \text{ m} \end{aligned}$$

3) Penurunan Iizin Kelompok Tiang ($S_{g(izin)}$)

$$\begin{aligned} S_{g(izin)} &= 15,00 + \frac{B}{600} \\ &= 15,00 + \frac{980}{600} \\ &= 16,63 \text{ cm} \\ &= 0,17 \text{ m} \end{aligned}$$

Cek: $S_{g(e)} < S_{g(izin)} = 0,08 \text{ m} < 0,17 \text{ m} < 0,05 \text{ m (OK)}$

Table 4 Rekapitulasi Hasil Penurunan Kelompok Tiang

L (m)	D (m)	$S_{g(izin)}$ (m)	$S_{g(e)} (1)$ (m)	$S_{g(e)} (2)$ (m)	CEK
12,00	0,80	0,17	0,05	0,05	OK
	1,00	0,17	0,05	0,07	OK
	1,20	0,17	0,05	0,09	OK
	1,30	0,17	0,05	0,10	OK
15,00	0,80	0,17	0,08	0,06	OK
	1,00	0,17	0,04	0,08	OK
	1,20	0,17	0,05	0,10	OK
	1,30	0,17	0,03	0,12	OK
20,00	0,80	0,17	0,06	0,08	OK
	1,00	0,17	0,04	0,10	OK
	1,20	0,17	0,03	0,13	OK
	1,30	0,17	0,03	0,14	OK

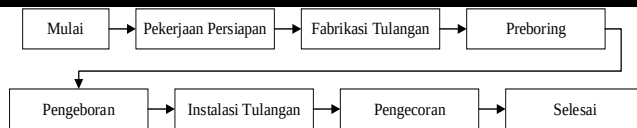
Sumber: Hasil Analisis

E. Penentuan Fondasi Bored Pile

Berdasarkan perhitungan di atas dapat ditentukan desain fondasi yang terpilih adalah **Bored Pile diameter 1,00 meter pada kedalaman 15 meter**. Hal tersebut dikarenakan desain *bored pile* terpilih memenuhi syarat kapasitas daya dukung dan penurunan. Selain itu, desain tersebut juga efisien dari segi biaya karena volumenya yang dimiliki relatif kecil.

F. Metode Pelaksanaan

Berikut ini adalah metode pelaksanaan *bored pile* pada Pilar 3 Jembatan Paiton 2.



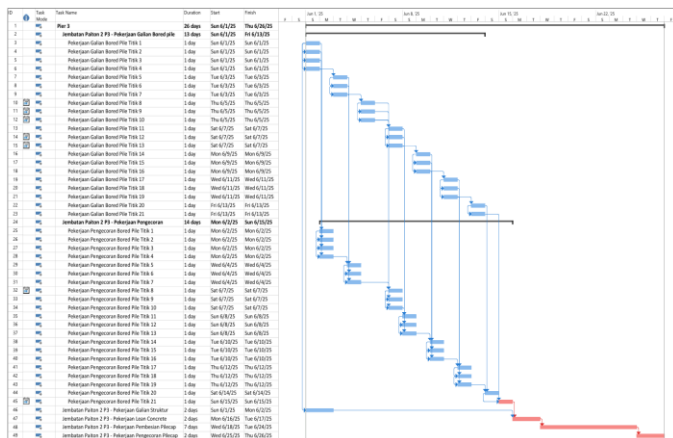
Gambar 3 Alur Pekerjaan Fondasi *Bored Pile*

- 1) Pekerjaan Persiapan
 - a) Persiapan Lokasi Pekerjaan
 - b) Survei Lapangan dan Penentuan Titik Fondasi
 - c) Persiapan dan Instalasi Alat Bor
 - d) Pekerjaan *Pre-Boring* dan Pemasangan *Casing*
- 2) Pekerjaan Fabrikasi Tulangan
- 3) Pekerjaan Pengeboran
- 4) Pekerjaan Instalasi Tulangan
- 5) Pekerjaan Pengecoran
 - a) Pemasangan Pipa *Tremie* dan Corong
 - b) Pengecoran Beton

Metode Pelaksanaan akan dilakukan implementasi *Building Information Modelling* untuk memvisualisasi progres pembangunan sesuai waktu pelaksanaan, sehingga dapat dipantau perkembangannya secara *real-time*.

1) Time Schedule

Pada proses pembuatan Time Schedule dengan memanfaatkan teknologi BIM digunakan salah satunya software MS Project untuk merencanakan waktu pelaksanaan. Dalam analisis ini didapatkan hasil berupa luaran hari pekerjaan konstruksi fondasi *bored pile* selama 26 hari yang dapat dilihat pada **Gambar 4**.

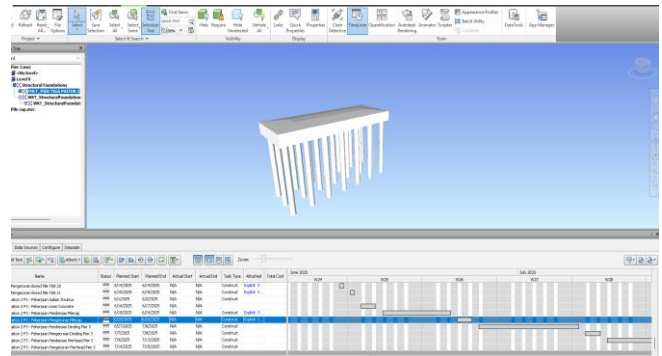


Gambar 4 Penjadwalan Menggunakan MS Project

2) Implementasi BIM 4D

Ketika menghubungkan model 3D menggunakan software Revit ke dalam jadwal di aplikasi MS Project, maka didapatkan simulasi proyek 4D, yang juga dikenal sebagai 4D BIM. Simulasi 4D dianalogikan seperti film dengan *time line*/garis

waktu dibagian atas layar yang memberikan gambaran visual tentang jadwal pekerjaan. Pada analisis yang telah dilakukan tidak terdapat *clash* antar pekerjaan, dikarenakan seluruh metode pelaksanaan sudah sesuai dengan peraturan.



Gambar 5 Visualisasi 4D Schedule dengan Naviswork

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis fondasi *bored pile* pada Pilar 3 Jembatan Paiton 2 STA. 28+600 Proyek Tol Probawangi yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. *Bored pile* rencana baru Ø 1,00 m dengan kedalaman 15 m menghasilkan kapasitas daya dukung sebesar $Q_{all(g)} = 37990,63$ kN serta penurunan sebesar $S_{g(e)}$ Vesic = 0,0397 m dan $S_{g(e)}$ Mayerhoff = 0,0836 m.
2. *Bored pile* eksisting Ø 1,20 m dengan kedalaman 15 m menghasilkan kapasitas daya dukung sebesar $Q_{all(g)} = 47700,67$ kN serta penurunan manual sebesar $S_{g(e)}$ Vesic = 0,0509 m dan $S_{g(e)}$ Mayerhoff = 0,105 m.
3. Analisis kedua dimensi, baik kondisi eksisting maupun skenario perencanaan baru, menunjukkan terpenuhinya seluruh kriteria desain yang disyaratkan, yakni kapasitas dukung izin tanah dasar $Q_{all(g)} > Q_v$ dan penurunan aktual fondasi $S_{g(e)} < S_{g(izin)}$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI 03-6747:2002, "TATA CARA PERENCANAAN TEKNIS PONDASI TIANG UNTUK JEMBATAN," 2002.
- [2] SNI 1725:2016, "Pembebanan untuk jembatan Badan Standardisasi Nasional," 2016. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [3] Jasa Marga Probolinggo-Banyuwangi, "SPESIFIKASI UMUM JALAN TOL PROBOLINGGO-BANYUWANGI PAKET 3 STA. 20+200 - STA. 45+800," 2020.
- [4] B. Supriyadi and A. S. Muntohar, "JEMBATAN," Yogyakarta, Jun. 2007.

-
- [5] P. N. W. Verhoef, "Geologi untuk Teknik Sipil," 1994, Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <http://kin.perpusnas.go.id/DisplayData.aspx?pId=49285&pRegionCode=ITSSBY&pClientId=703>
- [6] Braja M. Das, "Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)," 1995.
- [7] Bowles, FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN 5th ed. Irwin/McGraw-Hill, 1996.
- [8] R. E. Grim, "CLAY MINERALOGY," 1953.
- [9] Braja M. Das, "PRINCIPLE OF FOUNDATION ENGINEERING," 2011.
- [10] B. M. Das and Z. Luo, "Principles of Soil Dynamics THIRD EDITION CENGAGE Learning··," 2017. [Online]. Available: www.cengage.com/highered
- [11] V. A. Assa et al., "Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dangkal dengan Data Sondir di Kelurahan Kairagi Dua-Manado," JTST, vol. 2, no. 2, pp. 47–61, 2020, [Online]. Available: <http://Jurnal.polimdo.ac.id/>
- [12] Manual Plaxis 3D, "PLAXIS_3D_2024.2_3D_2_Reference Manual," 2024.
- [13] F. M. Lianto, R. R. I. Legrans, and J. H. Ticoh, "Studi Kapasitas Fondasi Tiang Bor (Bored Pile) Pada Abutment 2 Jembatan Boulevard II," 2023.
- [14] SNI 2847:2019, "SNI-2847-2019-Persyaratan-Beton-Struktural-Untuk-Bangunan-Gedung-1," 2019, Accessed: May 22, 2025. [Online]. Available: <https://tekonsipil.sv.ugm.ac.id/wp-content/uploads/sites/938/2020/01/SNI-2847-2019-Persyaratan-Beton-Struktural-Untuk-Bangunan-Gedung-1.pdf>
- [15] B. Tjahjono and D. Zebua, "PERBANDINGAN NILAI MOMEN PADA SPCOLUMN DENGAN HASIL EKSPERIMEN."
- [16] I. Ramdani, A. Rozandi, D. Budiman, and K. Elena Vladimirovna, "Implementasi Building Information Modeling (BIM) Pada Proyek Perumahan," Polka Narodnogo Opolcheniya Sq, vol. 4, no. 1, p. 1, 2022, [Online]. Available: <https://teslink.nusaputra.ac.id/index>
- [17] I. G. A. A. Putera, "MANFAAT BIM DALAM KONSTRUKSI GEDUNG: SUATU KAJIAN PUSTAKA I," 2022.
- [18] D. Maranatha Silitonga, S. Yobel Hendrawan, and dan Oei Fuk Jin, "DIGITALISASI METODE KONSTRUKSI PADA PROYEK HIGH-RISE BUILDING," 2024.
- [19] SNI 2833, "Standar Nasional Indonesia Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa," 2016, [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [20] Reference Manual Plaxis 3D, "PLAXIS_3D_2024.2_3D_2_Reference Manual," 2024.
- [21] M. Suradi, P. Aziz, R. Widyasari, and R. Tri Setya, "Analisis Perancangan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Software Plaxis (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung AMC RS Anutapura Palu) Analysis of Piling Foundation Design Using Plaxis Software (Case Study : AMC Building Construction Project of Anutapura Hospital Palu)," 2024.