



Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok Pada Pekerjaan Transmisi Line 150 kV PLTS Terapung PT. PJB Masdar Solar Energi

Fahreza Gobel^{#a}, Roski R. I. Legrans^{#b}, Jack H. Ticoh^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^agobelfahreza4@gmail.com, ^blegransroski@unsrat.ac.id, ^cjack.ticoh@unsrat.ac.id

Abstrak

PLTS Terapung Cirata memiliki transmisi line 150 kV yang menggunakan fondasi tiang bor kelompok untuk memikul beban konstruksi. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis daya dukung aksial, kapasitas uplift, daya dukung lateral, dan penurunan tiang bor kelompok pada konstruksi transmisi line 150 kV. Data tanah yang digunakan dalam analisis adalah data sekunder berupa data hasil uji SPT yang diperoleh dari PT PMSE.. Tahap analisis menggunakan metode analitik dengan panjang fondasi tiang bor adalah 8,5 m serta variasi diameter tiang yaitu 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m. Jumlah tiang dalam satu kelompok adalah 4 (empat) tiang. Analisis daya dukung aksial tiang bor kelompok menggunakan metode Reese & O'Neill (1988) untuk tanah lempung dan metode Reese & Wright (1977) untuk tanah pasir. Hasil analisis menunjukkan bahwa daya dukung ultimit pada fondasi tiang bor dengan diameter 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m masing-masing adalah 6372 kN, 10347 kN, dan 14848 kN. Diperoleh juga kapasitas uplift tiang bor kelompok ultimit pada masing-masing variasi diameter yakni 2624 kN (D = 0,4 m), 4109 kN (D = 0,6 m), dan 5710 kN (D = 0,8 m). Untuk analisis daya dukung lateral tiang bor kelompok menggunakan metode Reese & Matlock dengan defleksi izin sebesar 12 mm. Daya dukung lateral tiang bor kelompok ultimit yang diperoleh yaitu 509 kN (D = 0,4 m), 973 kN (D = 0,6 m) dan 1541 kN (D = 0,8 m). Penurunan yang terjadi pada tiang bor kelompok dianalisis dengan menggunakan metode Vesic (1977 dan 1970), Meyerhof (1976), dan software Settle3D. Penurunan maksimum yang terjadi pada fondasi tiang bor kelompok adalah 33 mm (D = 0,4 m), 49 mm (D = 0,6 m) dan 66 mm (D = 0,8 m). Keseluruhan hasil analisis menunjukkan bahwa pada diameter tiang bor terkecil yakni 0.4 m dan panjang tiang 8.5 m dengan jumlah tiang sebanyak 4 (empat) tiang per kelompok, fondasi tiang bor kelompok dapat memikul beban aksial dan beban lateral akibat konstruksi transmisi line dengan nilai factor keamanan > 2.5.

Kata kunci: tiang bor kelompok, daya dukung, transmisi line, uplift, penurunan

1. Pendahuluan

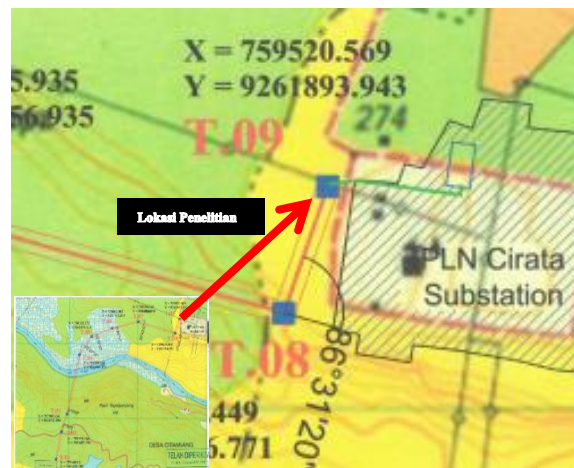
Saat ini, tantangan perubahan iklim memaksa peralihan dari energi fosil menuju energi bersih untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Indonesia, sebagai bagian dari upaya global ini, membangun PLTS Terapung 192 MWac di waduk Cirata, Jawa Barat, sebuah proyek strategis nasional dan salah satu PLTS terapung terbesar di dunia. Dalam rangka mendistribusikan energi dari pembangkit ke gardu induk PLN, PT PMSE membangun transmisi line 150 kV sebagai penghubung utama. Fondasi dalam konstruksi transmisi line menjadi tahap awal yang penting, memainkan peran krusial dalam menyalurkan beban struktural ke tanah yang stabil. Pemilihan fondasi, terutama fondasi tiang bor kelompok, didasarkan pada karakteristik tanah dan kelayakan lingkungan di lokasi pekerjaan, dengan pertimbangan kuat terhadap efisiensi serta tanpa mengganggu lingkungan sekitar.

Pemilihan fondasi, khususnya fondasi tiang bor kelompok, sangat dipertimbangkan dalam konteks tanah yang keras dan kedekatan lokasi dengan permukiman. Fondasi ini dipilih berdasarkan hasil penyelidikan tanah, yang menggunakan metode statis berdasarkan uji Standar Penetrasi Tanah (SPT). Fondasi tiang bor kelompok dianggap efisien karena tidak hanya mempertimbangkan karakteristik tanah dasar yang keras, tetapi juga meminimalkan dampak

lingkungan seperti getaran dan kebisingan yang mungkin terjadi pada fondasi tiang pancang. Dengan fondasi ini, penting untuk memahami keterkaitan antara fondasi dan tanah serta melakukan penyelidikan tanah yang teliti guna memastikan fondasi yang mampu menopang struktur transmisi line dengan baik.

2. Tahapan Analisis

Kegiatan penelitian diawali pengumpulan data yang dibutuhkan dalam proses analisis berupa data sekunder. Data sekunder diperoleh dari owner proyek pembangunan PLTS terapung Cirata yaitu PT PMSE. Tahap analisis dimulai dari kegiatan studi literatur untuk menambah pengetahuan tentang metode analisis yang akan digunakan. Data sekunder yang berupa nilai N-SPT dan data beban transmisi line pada lokasi proyek dikorelasikan terhadap parameter yang dibutuhkan dalam metode analitik dan metode numerik.



Gambar 1. Lokasi Transmisi Line 9
(Sumber: PT. PMSE)



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Berikut ini adalah tahap analisis fondasi tiang bor kelompok.

- **Tahap 1** : menghitung daya dukung aksial tiang tunggal menggunakan metode *Reese & O'Neill (1988)*

$$Q_u = A_p(q_p) \cdot \sum \pi D \Delta L(q_s) \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

dan *Reese Wright (1977)*

$$Q_u = A_p(q_p) \cdot \sum \pi D \Delta L(q_s) \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

- **Tahap 2** : menghitung daya dukung aksial tiang kelompok menggunakan faktor efisiensi tiang kelompok dengan persamaan

$$Q_{g,ult} = Q_u \times n \times \eta \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

$$\eta = 1 - [(2(n-1+n-2)d+4D)/pn \ln 2] \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

- **Tahap 3** : menghitung kapasitas uplift tiang tunggal dengan persamaan :

$$T_u = p \sum (\Delta l \cdot fr) + W_p \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

$$T_{all} = p \sum (\Delta l \cdot fr) / FK + W_p \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

- **Tahap 4** : menghitung kapasitas uplift tiang kelompok menggunakan persamaan :

$$T_{g(all)} = T_{all} \times n_{pile} \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

- **Tahap 5** : menghitung daya dukung lateral tiang tunggal menggunakan metode *Reese & Matlock* diawali dengan pengecekan perilaku tiang

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \times I_p}{nh}} \quad (\text{sumber : Manual Pondasi Tiang})$$

$L/T \geq 2$... *Tiang Panjang (elastis)*

$L/T \leq 2$... *Tiang Pendek (kaku)*

kemudian menghitung mernghitung daya dukung lateral dengan asumsi momen diujung tiang sama dengan nol dan defleksi toleransi sebesar 12 mm.

$$H_u = \frac{Y_x \times E_p \times I_p}{C_y \times T^3} \quad (\text{sumber : Manual Pondasi Tiang})$$

- **Tahap 6** : menghitung daya dukung lateral tiang kelompok menggunakan konsep efisiensi grup

$$(H_u)_g = G_e \times n \times H_u \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

Tabel 1. Ge Pada Tanah Nonkohesif

S/B	Ge
3	0.50
4	0.60
5	0.68
6	0.70

(Sumber : Prakash & Sharma, 1990)

- **Tahap 6** : menghitung negative skin friction pada tiang kelompok dengan persamaan

$$Q_{neg} = (b \times l) (y \times L) \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

- **Tahap 7** : menghitung penurunan tiang tunggal menggunakan metode *Semi-Empiris (Vesic, 1977)*

$$S_t = S_{(1)} + S_{(2)} + S_{(3)} \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

$$S_{(1)} = \frac{(Q_{pa} + Q_{sa} \xi)L}{A_p E_p} \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

$$S_{(2)} = \frac{C_p Q_{pa}}{D q_p} \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

$$S_{(3)} = \frac{C_s Q_{sa}}{L q_p} \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

dan juga menggunakan metode *Empiris (Vesic, 1970)*

$$S_t = \frac{D}{100} + \frac{Q_{val}}{A_p E_p} \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

- **Tahap 8** : menghitung penurunan tiang kelompok menggunakan persamaan

$$S_g = \sqrt{\frac{B_g}{D}} \times S_t \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

dan juga menggunakan metode Meyerhof, 1976

$$Sett = \frac{2q\sqrt{Xl}}{N_{corr}} \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

- **Tahap 9** : menghitung penurunan tiang kelompok menggunakan software Settle 3D.

3. Hasil dan Pembahasan

Perhitungan dilakukan dengan panjang tiang yang digunakan yaitu 8,5 meter dan variasi diameter tiang yaitu diameter 0,4 m, diameter 0,6 m, dan diameter 0,8 m.

3.1. Koreksi Data SPT dan Korelasi Parameter Tanah

Nilai SPT yang didapatkan diolah kemudian digunakan pada perhitungan-perhitungan selanjutnya. Hasil koreksi data SPT dan korelasi parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Koreksi Data SPT dan Korelasi Parameter Tanah

DEPTH (m)	SOIL DESCRIPTION	SOIL CONSISTENCY	N60	6N	C		φ °	γ (Kn/m ³)
				Cu (kPa)	(t/m ²)	kN/m ²		
0,50	EMBANKMENT MATERIAL, SILTY CLAY	MIXED WITH GRAVEL AND ROOTS PLANT	6,30	37,80	3,90	38,22	29,80	17,75
1,00								
1,50								
2,00	CLAY	SOFT	5,51	33,08	3,50	34,30	29,17	17,63
2,50								
3,00								
3,50								
4,00	SILTY CLAY, BRECCIA	VERY HARD	44,63	-	-	-	44,49	23,49
4,50								
5,00								
5,50								
6,00								
6,50	SILTY CLAY, BRECCIA	MEDIUM	14,96	-	-	-	33,42	19,04
7,00								
7,50								
8,00								
8,50								
9,00								
9,50	BRECCIA	VERY HARD	52,50	-	-	-	44,49	24,68
10,00								
10,50								
11,00								

3.2. Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal

Resume hasil perhitungan daya dukung aksial tiang tunggal yang menggunakan metode Reese & O'Neill dan metode Reese & Wright untuk panjang tiang yang direncanakan, L = 8,5 m ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal (kN)

Diameter 0,4 m		Diameter 0,6 m		Diameter 0,8 m	
Qu	Qall	Qu	Qall	Qu	Qall
796,44	318,58	1293,32	517,33	1855,98	742,39

3.3. Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Kelompok

Resume hasil perhitungan daya dukung aksial tiang kelompok ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Kelompok (kN)

Diameter 0,4 m		Diameter 0,6 m		Diameter 0,8 m	
Qgu	Qgall	Qgu	Qgall	Qgu	Qgall
6371,52	2548,61	10346,58	4138,63	14847,8	5939,14

3.4. Perhitungan Kapasitas Uplift Tiang Tunggal

Diameter = 0,4 m

Kedalaman = 8,5 m

Y beton = 24 kN/m³

FK = 2,5

Kapasitas aksial uplift ultimit (Tu)

$Tu = Q_{fr} + W_p = Q_s = p \sum (\Delta l \cdot f_r) + W_p$

$Tu = 1,256 \times 529,37 + (0,13 \text{ m}^2 \times 8,5 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3)$

$Tu = 690,512 \text{ kN}$

Kapasitas aksial uplift ijin (T allowable)

$T_{all} = (Q_{fr}/SF) + W_p$

$T_{all} = ((1,256 \times 529,37)/2,5) + (0,13 \text{ m}^2 \times 8,5 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3)$

$T_{all} = 291,578 \text{ kN}$

Resume hasil perhitungan kapasitas aksial uplift ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Kapasitas Aksial Uplift Tiang Tunggal (kN)

Diameter 0,4 m		Diameter 0,6 m		Diameter 0,8 m	
Tu	Tall	Tu	Tall	Tu	Tall
690,51	291,58	1054,98	456,58	1432,27	634,40

3.5. Perhitungan Kapasitas Uplift Tiang Kelompok

Diameter = 0,4 m

Tall = 291,578 kN

Kapasitas uplift ijin tiang kelompok Tg(all)

$Tg(\text{all}) = T_{all} \times n_{\text{pile}}$

$= 291,78 \text{ kN} \times 9$

$= 2624,2 \text{ kN}$

Resume hasil perhitungan kapasitas aksial uplift ijin tiang kelompok ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Kapasitas Aksial Uplift Ijin Tiang Kelompok (kN)

Diameter 0,4 m	Diameter 0,6 m	Diameter 0,8 m
Tgall	Tgall	Tgall
2624,2	4109,22	5709,61

3.6. Kontrol Daya Dukung Aksial

1. Kontrol daya dukung aksial terhadap faktor keamanan

a. Diameter 0,4 m

$P_u = 120,129 \text{ kN}$

$P_g(u) = 1311,76 \text{ kN}$

Kontrol daya dukung tiang tunggal

$FK = \frac{796,44 \text{ kN}}{120,129 \text{ kN}}$

$FK = 6,63 > 2,5$ **Aman**

Kontrol daya dukung tiang kelompok

$FK = \frac{6371,51 \text{ kN}}{1311,76 \text{ kN}}$

$FK = 4,857 > 2,5$ **Aman**

b. Diameter 0,6 m

- $P_u = 154,69 \text{ kN}$
 $P_g(u) = 1911,05 \text{ kN}$
 Kontrol daya dukung tiang tunggal
 $FK = \frac{1293,32 \text{ kN}}{154,69 \text{ kN}}$
 $FK = 8,36 > 2,5 \quad \text{Aman}$
 Kontrol daya dukung tiang kelompok
 $FK = \frac{10346,58 \text{ kN}}{1911,05 \text{ kN}}$
 $FK = 5,41 > 2,5 \quad \text{Aman}$
- c. Diameter 0,8 m
- $P_u = 203,07 \text{ kN}$
 $P_g(u) = 2750,06 \text{ kN}$
 Kontrol daya dukung tiang tunggal
 $FK = \frac{1855,98 \text{ kN}}{203,07 \text{ kN}}$
 $FK = 9,14 > 2,5 \quad \text{Aman}$
 Kontrol daya dukung tiang kelompok
 $FK = \frac{14847,84 \text{ kN}}{2750,06 \text{ kN}}$
 $FK = 5,4 > 2,5 \quad \text{Aman}$
2. Kontrol kapasitas uplift terhadap gaya tarik
- a. Diameter 0,4 m
- $\text{Uplift force (T)} = 746,69 \text{ kN}$
 $\text{Uplift force tiang tunggal (Ts)} = 82,97 \text{ kN}$
 Kontrol terhadap tiang tunggal
 $291,78 \text{ kN} > 82,97 \text{ kN} \dots \text{Aman}$
 $\frac{690,512 \text{ kN}}{82,97 \text{ kN}} > 2,5$
 $8,32 > 2,5 \dots \text{Aman}$
 Kontrol terhadap tiang kelompok
 $2624,2 \text{ kN} > 746,69 \text{ kN} \dots \text{Aman}$
- b. Diameter 0,6 m
- $\text{Uplift force (T)} = 746,69 \text{ kN}$
 $\text{Uplift force tiang tunggal (Ts)} = 82,97 \text{ kN}$
 Kontrol terhadap tiang tunggal
 $456,66 \text{ kN} > 82,97 \text{ kN} \dots \text{Aman}$
 $\frac{1055,07 \text{ kN}}{82,97 \text{ kN}} > 2,5$
 $12,72 > 2,5 \dots \text{Aman}$
 Kontrol terhadap tiang kelompok
 $4109,99 \text{ kN} > 746,69 \text{ kN} \dots \text{Aman}$
- c. Diameter 0,8 m
- $\text{Uplift force (T)} = 746,69 \text{ kN}$
 $\text{Uplift force tiang tunggal (Ts)} = 82,97 \text{ kN}$
 Kontrol terhadap tiang tunggal
 $634,401 \text{ kN} > 82,97 \text{ kN} \dots \text{Aman}$
 $\frac{1432,27 \text{ kN}}{82,97 \text{ kN}} > 2,5$
 $17,26 > 2,5 \dots \text{Aman}$
 Kontrol terhadap tiang kelompok
 $5709,61 \text{ kN} > 832,328 \text{ kN} \dots \text{Aman}$

3.7. Perhitungan Daya Dukung Lateral Tiang tunggal Reese & Matlock

Diameter = 0,4 m
 Panjang Tiang = 8,5 m

Periksa perilaku tiang

$$\begin{aligned}
 T &= \sqrt[5]{\frac{20647929,68 \times 0,001256}{19400}} \\
 &= 1,05977 \text{ m} \\
 8,02 &\geq 2
 \end{aligned}$$

$$L/T \geq 2$$

Maka tiang disimpulkan sebagai tiang panjang.

Perhitungan daya dukung lateral tiang tunggal

$$Mg = 0$$

$$Y_x = 0,012 \text{ m}$$

$$C_y = 0,9256$$

$$H_u = \frac{0,012 \times 20647929,68 \times 0,001256}{0,9256 \times 1,05977^3}$$

$$= 282,475 \text{ kN}$$

$$Hall = 282,475/2,5$$

$$= 112,99 \text{ kN}$$

Resume hasil perhitungan daya dukung lateral tiang tunggal ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal (kN)

Diameter 0,4 m		Diameter 0,6 m		Diameter 0,8 m	
Hu	Hall	Hu	Hall	Hu	Hall
282,475	112,99	540,41	216,17	856,305	342,522

3.8. Perhitungan Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok

$$\text{Diameter} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Tiang} = 9 \text{ buah}$$

Perhitungan daya dukung lateral tiang kelompok

$$G_e = 0,5$$

$$\text{Hall}(g) = 0,5 \times 9 \times 112,99$$

$$= 508,456 \text{ kN}$$

Resume hasil perhitungan daya dukung lateral tiang kelompok ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok (kN)

Diameter 0,4 m	Diameter 0,6 m	Diameter 0,8 m
Hall(g)	Hall(g)	Hall(g)
508,456	972,745	1541,35

3.9. Perhitungan Penurunan Tiang

1. Menghitung negative skin friction tiang kelompok

$$\text{Diameter} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Lebar pile cap} = 3,6 \text{ m}$$

$$\text{Panjang pile cap} = 3,6 \text{ m}$$

$$Q_{neg} = (3,6 \times 3,6) (10,52 \times 8,5)$$

$$= 1159,26 \text{ kN}$$

Resume hasil perhitungan negative skin friction ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan NSF Tiang Kelompok (kN)

Diameter 0,4 m	Diameter 0,6 m	Diameter 0,8 m
Qneg	Qneg	Qneg
1159,26	2608,33	4637,02

2. Menghitung penurunan metode Vesic, 1977 dan Vesic, 1970

$$\text{Diameter} = 0,4 \text{ m}$$

a. Semi-Empiris (Vesic, 1977)

Penurunan tiang tunggal

$$S_1 = \frac{(52,62 + 265,96 \times 0,67)8,5}{0,13 \times 20647929,68} = 0,00076 \text{ m}$$

$$S_2 = \frac{0,09 \times 52,62}{0,4 \times 1047,38} = 0,0113 \text{ m}$$

$$S_3 = \frac{0,237 \times 265,96}{8,5 \times 1047,38} = 0,0014 \text{ m}$$

$$St = 0,01346 \text{ m} = 13,5 \text{ mm}$$

Penurunan tiang kelompok
Bg = 2,4 m

$$Sg = 0,0135 \sqrt{\frac{2,4}{0,4}} = 0,033 = 33 \text{ mm}$$

b. Empiris (Vesic, 1970)

Penurunan tiang tunggal

$$St = \frac{15,748}{100} + \frac{71619,45 \times 334,645}{194,68 \times 2994734}$$

$$St = 0,1986 \text{ in}$$

$$St = 0,00504 \text{ m}$$

Penurunan tiang kelompok

$$Bg = 2,4 \text{ m}$$

$$Sg = 0,00504 \sqrt{\frac{2,4}{0,4}} = 0,0124 = 12,4 \text{ mm}$$

Resume hasil perhitungan penurunan tiang kelompok metode Vesic (1977 dan 1970) ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Perhitungan Penurunan Metode Vesic (1977 dan 1970)

Diameter	Semi Empiris (Vesic, 1977)		Kontrol	Empiris (Vesic, 1970)		Kontrol
	Tunggal (mm)	Kelompok (mm)		Tunggal (mm)	Kelompok (mm)	
0,4 m	13,46	32,97	Fondasi Aman	5,04	12,36	Fondasi Aman
0,6 m	19,99	48,96	Fondasi Aman	6,75	16,54	Fondasi Aman
0,8 m	26,86	65,79	Fondasi Aman	8,61	21,09	Fondasi Aman

3. Menghitung penurunan metode Meyerhof (1976)

Perhitungan penurunan tiang kelompok metode Meyerhof (1976) dilakukan pada 3 kondisi yaitu penurunan akibat daya dukung tiang kelompok, penurunan akibat beban mati dan penurunan akibat pengaruh negative skin friction.

$$\text{Diameter} = 0,4 \text{ m}$$

a. Penurunan Akibat Daya dukung Tiang Kelompok

$$\text{Kapasitas Tiang Kelompok} = 259,89 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah Tiang} = 9$$

$$X = 7,87 \text{ ft}$$

$$L = 27,89 \text{ ft}$$

$$N_{corr} = 33,73$$

$$q = 4,192 \text{ ton/f}^2$$

$$I = 0,56$$

Penurunan tiang kelompok

$$Sett = \frac{2 \times 4,192 \sqrt{7,87} \times 0,56}{33,73}$$

$$Sett = 0,39 \text{ in} \quad Sett = 0,99 \text{ cm} \quad = 99 \text{ mm}$$

b. Penurunan Akibat Beban Mati

$$\text{Total beban mati} = 110,25 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah Tiang} = 9$$

$$X = 7,87 \text{ ft}$$

$$L = 27,89 \text{ ft}$$

$$N_{corr} = 33,73$$

$$q = 1,778 \text{ ton/f}^2$$

$$I = 0,56$$

Penurunan tiang kelompok

$$Sett = \frac{2 \times 1,778 \sqrt{7,87} \times 0,56}{33,73}$$

$$Sett = 0,16 \text{ in} \quad = 0,42 \text{ cm} \quad = 42 \text{ mm}$$

- c. Penurunan Akibat Beban Mati + NSF
 - Total beban mati+Qneg = 378,1 ton
 - Jumlah Tiang = 9
 - X = 7,87 ft
 - L = 27,89 ft
 - Ncorr = 33,73
 - q = 3,685 ton/f²
 - I = 0,56

Penurunan tiang kelompok

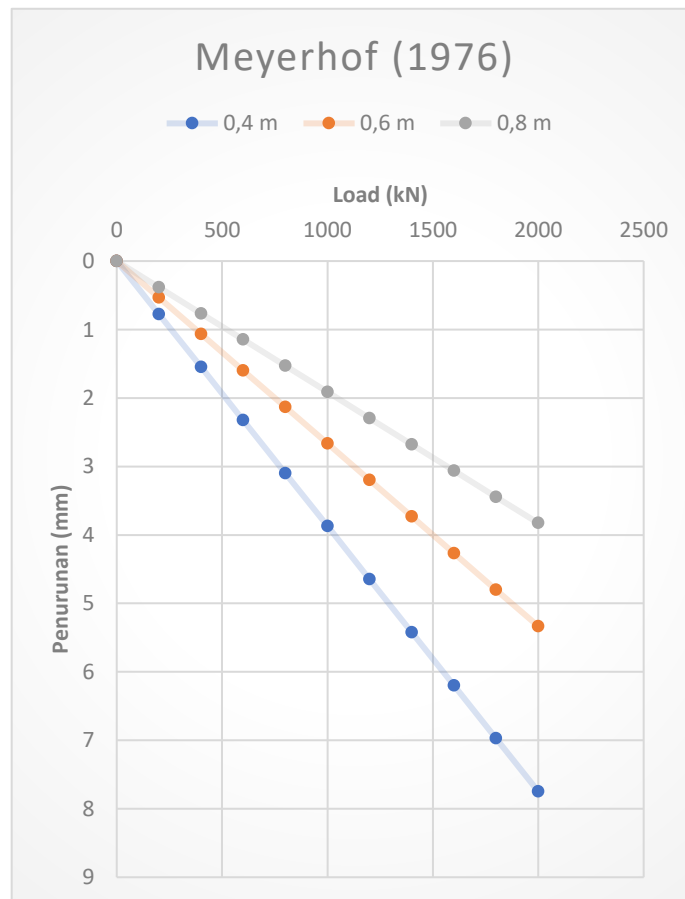
$$Sett = \frac{2 \times 3,685 \sqrt{7,87 \times 0,56}}{33,73}$$

Sett = 0,34 in = 0,87 cm = 87 mm

Resume perhitungan penurunan tiang kelompok metode Meyerhof (1976) ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok Metode Meyerhof (1976)

Diameter	Meyerhof 1976			Kontrol
	Akibat Qg (cm)	Akibat DL (cm)	Akibat DL+NSF (cm)	
0,4 m	0,99	0,42	0,87	Fondasi Aman
0,6 m	1,10	0,37	1,04	Fondasi Aman
0,8 m	1,14	0,35	0,89	Fondasi Aman

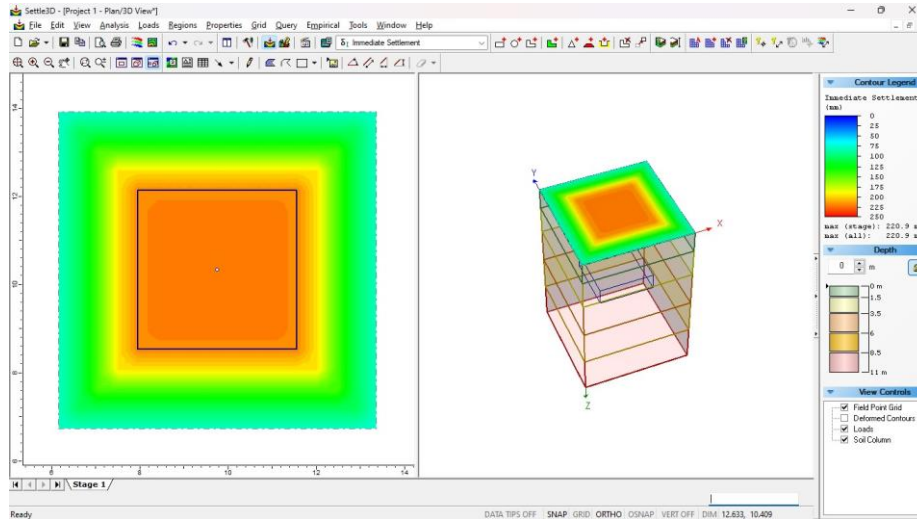


Gambar 3. Grafik Hubungan Beban dan Penurunan
(Sumber: Hasil Analisis)

- 4. Menghitung Penurunan Tiang Kelompok Menggunakan Software Settle 3D

Perhitungan penurunan tiang kelompok menggunakan software Settle 3D dilakukan pada 3 kondisi yaitu penurunan akibat daya dukung tiang kelompok, penurunan akibat

beban mati dan penurunan akibat pengaruh negative skin friction.



Gambar 4. Hasil Perhitungan Penurunan Menggunakan software
(Sumber: Settle 3D)

Resume perhitungan penurunan tiang kelompok menggunakan software Settle 3D ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok dengan Settle 3D

Diameter (m)	Penurunan Tiang Bor Kelompok (mm)			Kontrol
	Settle 3D			
	Daya Dukung	Beban Mati	NSF	
0,4	10	4,10	8,80	Fondasi Aman
0,6	5,40	2,80	8,30	Fondasi Aman
0,8	3,40	2,20	6,20	Fondasi Aman

4. Kesimpulan

- Perhitungan daya dukung aksial tiang bor menggunakan metode Reese & O'Neill (1988) untuk tanah lempung dan metode Reese & Wright (1977) untuk tanah pasir dengan variasi diameter tiang 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m, mendapatkan hasil daya dukung aksial tiang bor kelompok (Q_g) ultimit masing masing secara berurut adalah 6371,52 kN, 10346,6 kN, dan 14847,8 kN. Sedangkan untuk daya dukung aksial tiang bor kelompok (Q_g) ijin masing masing secara berurut dengan faktor keamanan (FK) 2,5 adalah 2548,61 kN, 4138,63 kN, dan 5939,14 kN. Untuk kontrol terhadap beban aksial tiang bor kelompok (P_u), semua variasi diameter tiang aman terhadap beban aksial, dimana beban aksial tiang bor kelompok secara berurut yaitu 1081,16 kN, 1392,2 kN, dan 1827,66 kN.
- Kapasitas uplift ijin tiang bor kelompok (T_g allowable) dengan variasi diameter 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m secara berurut adalah 2624,2 kN, 4109,26 kN, dan 5709,61 kN. Untuk kontrol kapasitas uplift tiang bor kelompok terhadap beban aksial, semua variasi diameter aman terhadap beban uplift dimana beban uplift sebesar 746,69 kN.
- Daya dukung lateral tiang kelompok menggunakan metode Reese & Matlock dengan variasi diameter tiang 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m serta defleksi ijin 12 mm secara berurut yaitu 508,46 kN, 972,75 kN, dan 1541,35 kN.
- Berdasarkan perhitungan penurunan tiang kelompok yang telah dilakukan baik menggunakan perhitungan analitik maupun numerik didapatkan hasil perhitungan dengan penurunan terbesar yaitu menggunakan metode semi-empiris (Vesic, 1977). Dimana untuk diameter 0,4 m terjadi penurunan sebesar 32,97 mm, diameter 0,6 m terjadi penurunan sebesar 48,96 mm, dan untuk diameter 0,8 m terjadi penurunan sebesar 65,79 mm dengan penurunan ijin tiang untuk setiap variasi diameter tiang secara berurut adalah 150,67 mm, 151 mm, dan 151,33 mm.

Referensi

- Ardhan, M. F., & Rahmadi, R. (2023). PENGARUH NEGATIVE SKIN FRICTION TERHADAP GRUP TIANG PANCANG (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Farmasi UNWAHAS Semarang) (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Bowles, J. E. (2002). Analisis dan Desain Pondasi.
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2018). Principles of foundation engineering. Cengage learning.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Fadila, S. (2014). Analisa Desain Struktur dan Fondasi Menara Pemancar Tipe “Self Supporting Tower” di Kota Palembang. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan* Vol. 2, No. 4.
- Fadilah, U. N., & Tunafiah, H. (2018). Analisa Daya Dukung Fondasi Bored Pile Berdasarkan Data N-SPT Menurut Rumus Reese&Wright Dan Penurunan. *IKRA-ITH Teknologi Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(3), 7-13.
- FADLI, Z. A. (2021). Pengaruh Variasi Dimensi Tiang Bor Terhadap Kapasitas Dukung Aksial, Kapasitas Dukung Lateral Dan Penurunan (The Effect Of Dimensions Variations On Axial Bearing Capacity, Lateral Bearing Capacity And Settlement)(Studi Kasus: Proyek Paket 4 Pembangunan Apslc Universitas Gadjah Mada).
- Fauziah, N. M. (2020). Evaluasi Penurunan Daya Dukung Tiang Pancang akibat Negative Skin Friction.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). Analisis dan Perancangan FONDASI bagian II. Gadjah Mada University press, Yogyakarta.
- HASHFI, T. M. A. (2022). Analisis Kapasitas Dukung Dan Penurunan Pondasi Bored Pile Dengan Variasi Dimensi (Analisis Of Bearing Capacity And Settlement Of Bored Pile Foundation With Dimensions Variation) 1.1 (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Budaya Institut Seni Budaya Indonesia, Aceh).
- Indonesia, S. N. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik. SNI, 8460, 2017.
- Kalendesang, N. C., Ticoh, J. H., Legrans, R. R. Analisis Penurunan Fondasi Dangkal Menggunakan Program Settle3D (Studi Kasus: SMA Eben Haezar Manado). *TEKNO*, 20(82), 459-469.
- Lianto, F. M., Legrans, R. R., & Ticoh, J. H. (2023). Studi Kapasitas Fondasi Tiang Bor (Bored Pile) Pada Abutment 2 Jembatan Boulevard II. *TEKNO*, 21(85), 1607-1616.
- MUTIARASELLA, N. (2022). Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Bor Pada Gedung Masjid Hajjah Yuliana Bearing Capacity And Settlement Analysis Of Borepile Foundation On The Hajjah Yuliana Mosque.
- Naibaho, A. N. (2021). ANALISA DAYA DUKUNG DAN STABILITAS KONSTRUKSI PONDASI TIANG BOR (BORE PILE) PADA PROYEK PEMBANGUNAN T/L 150 KV PEMATANG SIANTAR-TANAH JAWA. *JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL*, 10(1), 67-75.
- Paulus, P. R. 2013. Manual Pondasi Tiang. Universitas Katolik Parahyangan. Bandung.
- Prabowo, A. A., Pratama, D. A., & Agung, P. A. M. (2019). Perbandingan Daya Dukung Antara Pondasi Tiang Pancang dengan Pondasi Bor. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil* (Vol. 1, No. 1, pp. 318-328).
- Prakash, S., & Sharma, H. D. (1991). Pile foundations in engineering practice. John Wiley & Sons.
- Ramadhani, A. (2021). ANALISIS MODIFIKASI DESAIN PONDASI TOWER AA6+ 0 KELAS 3 TIPE NORMAL MENJADI AA6+ 6 KELAS 6 TIPE BOREPILE (Studi Kasus: Area Lokasi T. 05 PT Semen Grobogan SUTT 150 kV Ungaran–Mranggen-Purwodadi) (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Sukabumi).
- Santoso, H. T., dan Hartono, J. 2020. Analisis Perbandingan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji SPT dan Pengujian Dinamis. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil* Vol. 4, No. 1.
- Tjahyati, Hermin. 2019. Daya Dukung Tanah. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.