

ANALISIS KEKUATAN PONDASI TERHADAP STRUKTUR TOWER TRANSMISI TYPE CC+9 500 kV

Jaenuri¹, Nurul Chayati¹, Alimuddin¹, Feril Hariati¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

Jl. KH. Soleh Iskandar KM. 2, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

Email: Jjaenuri11@gmail.com, nurulais12345@gmail.com

ABSTRAK

Tingkat konsumsi listrik di Indonesia terus menunjukkan peningkatan dari tahun ke tahun karena banyaknya permintaan baik di sektor transportasi, perindustrian maupun sektor rumah tangga. Agar pasokan listrik dapat disuplai secara merata ke seluruh daerah di Indonesia maka dibutuhkan jaringan yang luas salah satunya adalah jaringan listrik transmisi 500 kV dari Gardu Induk Cikupa sampai Gardu Induk Kembangan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui daya dukung ijin tiang terhadap gaya *uplift* dan *compression*, kontrol terhadap guling (*overturning*), keruntuhan kelompok tiang dan penurunan pondasi *pile-raft*. Metode yang digunakan adalah Metode Terzaghi dan Peck, Metode Guy Sangleratt, Metode Converse-Labarre, dan Metode Janbu, Bjerrum, dan kjaernsli. Hasil analisis pembebanan pada pondasi diperoleh dari program MS. Tower berupa gaya dan momen. Pondasi Tower Transmisi Type CC+9 500 kV aman terhadap daya tarik keatas (*uplift*) yaitu, $P_{ta_{max}} = 210,21$ kN kurang dari $P_{ta} = 245,98$ kN, pondasi aman terhadap daya tekan (*compress*), yaitu $P_{a_{max}} = 736,18$ kurang dari $P_a = 1700,91$ kN. Berdasarkan analisis stabilitas menara terhadap pondasi, pondasi stabil terhadap guling SF 2,469 lebih dari sama dengan 1,5 dan stabil terhadap keruntuhan kelompok tiang $Q = 268615,491$ kN lebih dari $N_c = 9730,372$ kN. Total penurunan pondasi dari penurunan seketika dan penurunan konsolidasi didapat hasil yaitu 9,66 mm kurang dari 25 mm, dan dinyatakan aman.

Kata Kunci: Pondasi *pile-raft*; pondasi *tower* transmisi; dan desain pondasi *tower*.

Abstract

The level of electricity consumption in Indonesia continues to show an increase from year to year due to the large demand in the transportation, industrial and household sectors. In order for the electricity supply to be supplied evenly to all regions in Indonesia, an extensive network is needed, one of which is the 500 kV power transmission network from the Cikupa Substation to the Kembangan Substation. The purpose of this study was to determine the allowable bearing capacity of the pile on uplift and compression forces, control of overturning, collapse of pile groups and settlement of pile-raft foundations. The methods used are the Terzaghi and Peck Method, the Guy Sangleratt Method, the Converse-Labarre Method, and the Janbu, Bjerrum, and Kjaernsli Methods. The results of the loading analysis on the foundation were obtained from the MS Tower program in the form of style and moment. The foundation of the Transmission Tower Type CC + 9 500 kV is safe against uplift, namely, $P_{ta_{max}} = 210.21$ kN less than $P_{ta} = 245.98$ kN, the foundation is safe against compressive power, i.e. $P_{amax} = 736.18$ less than $P_a = 1700.91$ kN. Based on the analysis of the stability of the tower to the foundation, the foundation is stable against rolling SF 2.469 More than the same as 1.5 and stable against the collapse of the pile group $Q = 268615.491$ kN more than $N_c = 9730,372$ kN. The total settlement of foundation from instantaneous settlement and consolidation settlement is 9.66 mm less than 25 mm, safe.

Keywords: *Pile-raft foundation; transmission tower foundations; and tower foundation design.*

1. PENDAHULUAN

Tingkat konsumsi listrik di Indonesia terus menunjukkan kemajuan setiap tahunnya karena banyaknya permintaan baik di sektor transportasi, perindustrian maupun sektor rumah tangga. Hal ini mendorong pembangunan jaringan pembangkit listrik, transmisi listrik dan gardu induk di seluruh wilayah Indonesia terus ditingkatkan agar pasokan listrik dapat disuplai secara merata ke seluruh Indonesia, sehingga mensuplai listrik dibutuhkan jaringan yang sangat luas, salah satunya adalah jaringan listrik Transmisi 500 kV dari Cikupa sampai Kembangan. Analisis stabilitas pada tower transmisi yaitu dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas menara, yang salah satunya adalah pondasi. Secara umum, pondasi yang digunakan dalam menara transmisi dibagi menjadi pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal umumnya digunakan jika lapisan tanah keras berada pada kedalaman rendah (dangkal), sedangkan pondasi dalam umumnya digunakan jika lapisan tanah keras berada jauh di bawah permukaan tanah. (Lim, 2014; Sitohang & Roesyanto, 2014)

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menganalisis mengenai daya dukung ijin tiang terhadap gaya *uplift* dan *compression*, kontrol terhadap guling (*overturning*), keruntuhan kelompok tiang dan penurunan pondasi *pile-raft*. Metode yang digunakan adalah Metode Terzaghi dan Peck, Metode Guy Sangleratt, Metode Converse-Labarre, dan Janbu, Bjerrum, dan Kjaernsli. Salah satu pondasi yang dianalisis adalah pondasi tower transmisi CC+9 500 kV.

1.1 Tinjauan umum

Tower merupakan suatu jenis menara yang terbuat dari baja. Berdasarkan tempat berdirinya tower dapat dibedakan menjadi dua yaitu *greenfield* dan *rooftop*. Bentuk tower dapat dibedakan menjadi 3 yaitu rectangular, triangle dan pole. Rectangular adalah tower segi empat dengan empat kaki. Triangle adalah tower segi tiga dengan 3 kaki. Sedangkan pole adalah tower yang berbentuk bulat seperti pipa yang memiliki satu kaki. Tower yang berbentuk pipa ini kecil terbagi dua yaitu minipole dengan diameter dan monopole dengan diameter yang lebih besar. (Nugroho dkk, 2014).



Gambar 1. Tower transmisi 500 kV (PT. Bukaka Teknik Utama, Tbk, 2019)

1.2 Program MS Tower

MS tower adalah suatu program khusus yang dapat digunakan untuk menganalisis struktur menara dengan berbagai bentuk dan tipe seperti menara telekomunikasi, listrik, radio, radar, dan lainnya. MS tower berisi pilihan untuk menentukan geometri, beban, analisis, merencanakan input, hasil dan pengecekan member/batang (Ihsan & Rahayu, 2017).

1.3 Daya dukung ijin Tarik tiang keatas (*uplift*) dan daya dukung ijin tekan (*compression*)

Pamungkas & Harianti, (2013) menganalisis daya dukung ijin tekan pondasi tiang terhadap kekuatan tanah dengan memperhitungkan daya dukung pondasi bored pile berdasarkan data sondir dengan meninjau terhadap daya dukung ijin tekan serta daya dukung ijin tarik tiang, seperti yang digunakan oleh Guy Sangrelatt dengan formula sebagai berikut:

$$P_a = \frac{q_c \times A_p}{SF_1} + \frac{JHP \times A_s}{SF_2} \quad (1)$$

Dengan:

- Pa = Daya dukung ijin tekan tiang [kg],
- Qc = Tahanan ujung konus sondir [kg/cm²],
- Ap = Luas penampang tiang [cm²],
- Ast = Keliling penampang tiang [cm],
- JHP = Total friksi atau jumlah hambatan pelekat [kg/cm],
- SF = Faktor keamanan 1 dan 2.

Analisis daya dukung ijin tarik tiang pondasi keatas terhadap kuat tanah mempergunakan formula sebagai berikut:

$$P_u = \frac{JHPx A_s}{SF_2} + W_p \quad (2)$$

Dengan:

- Pa = Daya dukung ijin Tarik tiang [kg],
- W_{pile} = Berat tiang (kg),
- JHP = Total friksi atau jumlah hambatan pelekat [kg/cm],
- Ast = Keliling penampang tiang [cm],
- SF = Faktor keamanan 1 dan 2.

1.4 Beban Maksimum Tiang Pada Kelompok Tiang

Beban aksial dan momen yang bekerja akan didistribusikan ke *pile cap* dan kelompok tiang berdasarkan rumus elastisitas dengan menganggap bahwa *pile cap* kaku sempurna, sehingga pengaruh gaya yang bekerja tidak menyebabkan *pile cap* melengkung atau deformasi (Pamungkas & Harianti, 2013). (Hutabarat, 2001)

$$P_{maks} = \frac{N_c}{N_{pile}} + M_y * \frac{x}{\sum x^2} + M_x * \frac{y}{\sum y^2} \quad (3)$$

Dengan:

- P_{maks} = Beban maksimum [kg],
- N_c = Gaya aksial yang terjadi (terfaktor),
- M_y = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu y,
- M_x = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu x,
- X = Jarak tiang arah sumbu x terjauh,
- Y = Jarak tiang arah sumbu y terjauh,
- ∑X² = Jumlah kuadrat X,
- ∑Y² = Jumlah kuadrat Y,
- n_x = Banyak tiang dalam satu baris arah sumbu x,
- n_y = Banyak tiang dalam satu baris arah sumbu y, dan
- n_p = Jumlah tiang

1.5 Efisiensi Kelompok Tiang

Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus *Converse-Labbarre* dari *Uniform Building Code AASHTO* sebagai berikut: (Pamungkas & Harianti, 2013).

$$E_g = 1 - \theta \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right) \quad (4)$$

Dengan:

- E_g = Efisiensi kelompok tiang,
- θ = arc tg (D/s) (derajat),
- D = Ukuran penampang tiang,
- S = Jarak antar tiang,
- m = Jumlah tiang dalam 1 kolom,
- n = Jumlah tiang dalam 1 baris

1.6 Kontrol Terhadap Guling

$$\frac{M_G}{M_E} \geq 1.5 \quad (5)$$

Dengan

- M_G = Momen penahan guling
- M_G = W_g x D
- W_G = Berat sendiri fondasi, berat tanah dan berat air (jika ada)
- D = Jarak dari titik beban ke titik guling
- M_E = Momen penyebab guling (Diperoleh dari hasil analisis Ms. Tower dengan momen maksimal).

1.7 Keruntuhan Kelompok Tiang (*Block Failure*)

Keruntuhan kelompok tiang terjadi bila tiang pancang/bor dipasang pada jarak yang berdekatan. Saat tiang turun akibat beban struktur di atasnya, tanah di antara tiang tersebut ikut bergerak turun sehingga antara tiang dan tanah di antara tiang-tiang tersebut merupakan suatu kesatuan. Pada kasus seperti ini maka perlu dihitung untuk membandingkan nilai daya dukung yang dihasilkan kelompok tiang dan nilai daya dukung tiang tunggal. (Pamungkas & Harianti, 2013) (Hutabarat & Pasaribu, 2013)

Perhitungan nilai daya dukung kelompok tiang tersebut digunakan persamaan Terzaghi dan Peck (1948):

$$Q = \frac{(2L_p(B+L)C_u) + 1.3C_b \cdot S' \cdot N_c \cdot B \cdot L}{SF} \quad (6)$$

dengan:

- Q = Kapasitas dukung kelompok Tiang,
- L_p = Kedalaman tiang di bawah permukaan tanah,
- B = Lebar kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang,
- L = Panjang kelompok tiang dihitung dari pinggir tiang,
- C_u = Kohesi tanah di sekeliling kelompok tiang,
- C_b = Kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang,
- S' = Faktor bentuk,
- N_c = Faktor kapasitas dukung, dan
- SF = Faktor keamanan.

1.8 Analisis Penurunan (*Settlement*)

Pondasi mengalami dua macam penurunan, yaitu penurunan segera (S_i) yang terjadi setelah pondasi menerima beban dan penurunan konsolidasi (S_c) yang terjadi akibat keluarnya sebagian kandungan air dari lapisan tanah (Pamungkas & Harianti, 2013) (Taqwa et al., 2019). Total penurunan (S) yang terjadi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S = S_i + S_c \tag{7}$$

dengan:

- S = Total penurunan,
- S_i = Penurunan segera, dan
- S_c = Penurunan konsolidasi.

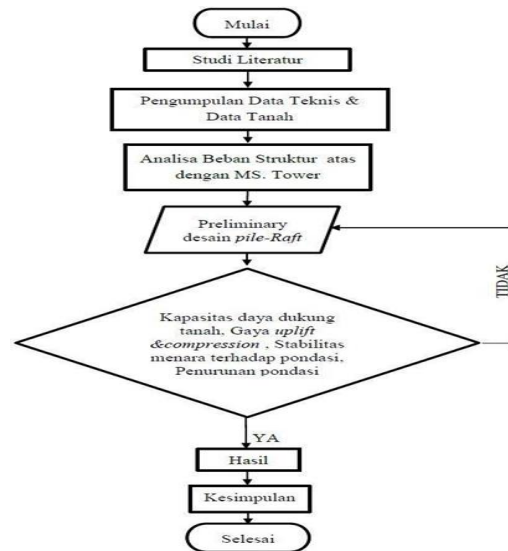
2. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan waktu penelitian

Lokasi penelitian berada di Kadu Jaya, Curug, Tangerang, Banten dengan nomor Tower T.74 tanggal 16 Maret 2020. Penelitian ini menggunakan data sekunder dengan cara perhitungan struktur bawah sehingga menghasilkan desain pondasi yang sesuai dan tepat, serta melalui studi literatur dengan menggunakan data dari instansi terkait yaitu PT. Bukaka Teknik Utama, Tbk. Selaku kontraktor dalam pekerjaan pembangunan tower tersebut, berupa data pembebanan struktur atas (suport reaksi), data sondir (CPT) dan data NSPT.

2.2 Bagan alir penelitian

Berikut adalah bagan alir terhadap penelitian yang terurai di bawah ini:



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

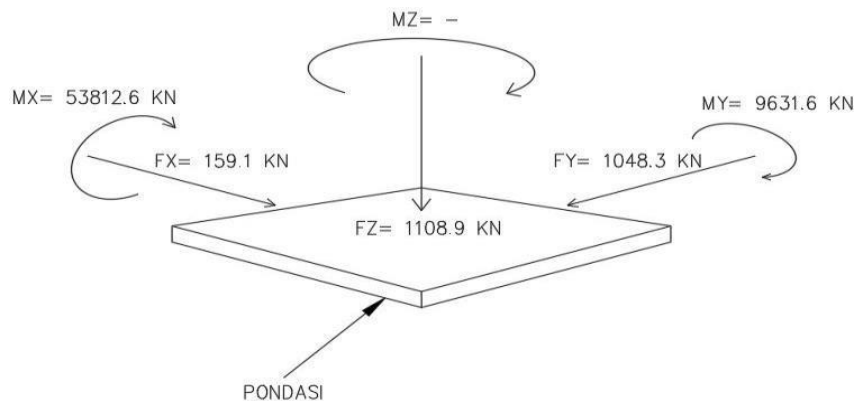
3.1 Analisis Pembebanan Pada Pondasi

Pembebanan pada pondasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil analisis didapat dari beban maksimum berdasarkan program MS. Tower, yaitu:

Tabel 1. Support reaksi

FX	FY	FZ	FZc	FZu	MX	MY	MZ
159,1 kN	1048,3 kN	1108,9 kN	3187,84 kN	2689,21 kN	53812,6 kN	9631,6 kN	-

(Sumber: PT. Bukaka Teknik Utama. Tbk, 2019)

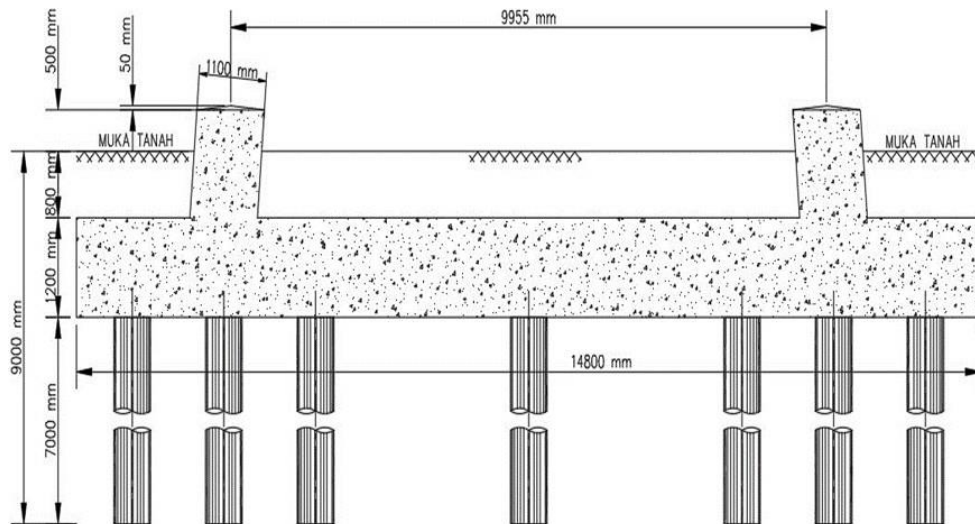


Gambar 3 Beban yang bekerja pada kaki menara

3.2 Pemodelan Pondasi Pile–Raft

Lebar raft 14,8 meter x 14,8 meter, tebal raft 1,2 meter, lebar chimney 1.1x1.1 meter, tebal 0,5

meter, panjang pile 9 meter diameter 0,6 meter.



Gambar 4 Dimensi pile raft

3.3 Menentukan qc rata-rata

- 1) qc_1 untuk mengetahui kapasitas ultimate tekanan tanah rata-rata di bawah pile $qc_1 = 160,36 \text{ kg/cm}^2$.
- 2) qc_2 untuk mengetahui kapasitas tekanan tanah rata-rata di bawah pile: $qc_2 = 83,86 \text{ kg/cm}^2$.
- 3) $Q_{allowable}$ untuk mengetahui tekanan tanah yang di izinkan untuk menerima beban $q_{all} = 1,333 \text{ kg/cm}^2$.
- 4) Total friksi pile (menurut catatan data CPT) = $739,8 \text{ kg/cm}^2$

3.4 Analisis Daya Dukung ijin Pondasi Terhadap Tarik keatas (Uplift)

Faktor keamanan:

$SF_2 = 5$; angka keamanan daya dukung geser tiang yang disarankan,

$$\begin{aligned} Q_s &= (3,14 \times 0,48) \times 739,8 \\ &= 1115,03 \text{ m} \times 100 \\ &= 111503 \text{ cm} \times 0,009807 \\ &= 1094,02 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berat tiang (W_{pile}):

$$\begin{aligned} W_{pile} &= 0,25 \times 3,14 \times 0,6^2 \times (9 - 0,8 - 1,2) \times \\ &13,73 \\ &= 27,173 \text{ kN} \end{aligned}$$

3.5 Analisis Daya Dukung ijin Pondasi Terhadap Tekan (Compress)

Kapasitas tiang dari uji sondir dengan menggunakan metode *Guy Sanglerat*

(Pamungkas & Harianti, 2013)

Faktor Keamanan

$SF_1 = 3$, angka keamanan daya dukung ujung tiang yang disarankan,

$SF_2 = 5$, angka keamanan daya dukung geser tiang yang disarankan.

Kapasitas tahan kulit (Q_s) pada tiang:

$$\begin{aligned} Q_s &= (3,14 \times 0,48) \times 739,8 \\ &= 1115,03 \text{ m} \times 100 \\ &= 111503 \text{ cm} \times 0,009807 \\ &= 1094,02 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas tahanan ujung tiang (Q_a):

$$\begin{aligned} Q_a &= 0,25 \times \pi \times dp^2 \times qc_1 \\ &= 0,25 \times 3,14 \times 0,6^2 \times 15725,664 \\ &= 4446,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung batas tekan tiang maksimum (*Compress*):

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{q_c \times A_p}{SF_1} + \frac{JHP \times A_s}{SF_2} \\ P_a &= \frac{4.446,3}{3} + \frac{1.094,02}{5} \\ P_a &= 1.700,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

3.6 Pendistribusian Beban Struktur Atas ke Tiang Pile

Tiang-tiang harus dikontrol untuk memastikan bahwa masing-masing tiang masih dapat menahan beban dari struktur atas sesuai dengan daya dukungnya. Hasil analisis pendistribusian beban *tower* ke *bored pile* pada Tabel.2.

Tabel 2. Analisis pendistribusian beban tower ke *bored pile*

Pile no.	x	y	x ²	y ²	Spacing	S > Smin	Beban (Pmaks)
1	6,475	4,975	41,93	24,75	1,50	OK !	657,76
2	6,475	3,475	41,93	12,08	3,48	OK !	561,70
3	6,475	0,000	41,93	0,00	3,48	OK !	339,15
4	6,475	-3,475	41,93	12,08	1,50	OK !	116,61
5	6,475	-4,975	41,93	24,75	1,50	OK !	20,54
6	4,975	-6,475	24,75	41,93	1,50	OK !	-93,16
7	4,975	-4,975	24,75	24,75	1,50	OK !	2,90
8	4,975	-3,475	24,75	12,08	1,50	OK !	98,96
9	4,975	3,475	24,75	12,08	1,50	OK !	544,05
10	4,975	4,975	24,75	24,75	1,50	OK !	640,11
11	4,975	6,475	24,75	41,93	1,50	OK !	736,18
12	3,475	6,475	12,08	41,93	1,50	OK !	718,53
13	3,475	4,975	12,08	24,75	1,50	OK !	622,47
14	3,475	0,000	12,08	0,00	3,00	OK !	303,86
15	3,475	-4,975	12,08	24,75	1,50	OK !	-14,75
16	3,475	-6,475	12,08	41,93	3,48	OK !	-110,81
17	0,000	-6,475	0,00	41,93	1,50	OK !	-151,69
18	0,000	-4,975	0,00	24,75	1,50	OK !	-55,63
19	0,000	0,000	0,00	0,00	3,48	OK !	262,98
20	0,000	4,975	0,00	24,75	1,50	OK !	581,59
21	0,000	6,475	0,00	41,93	1,50	OK !	677,65
22	-3,475	6,475	12,08	41,93	1,50	OK !	636,78
23	-3,475	4,975	12,08	24,75	1,50	OK !	540,71
24	-3,475	0,000	12,08	0,00	3,48	OK !	222,10
25	-3,475	-4,975	12,08	24,75	1,50	OK !	-96,50
26	-3,475	-6,475	12,08	41,93	1,50	OK !	-192,57
27	-4,975	-6,475	24,75	41,93	1,50	OK !	-210,21
28	-4,975	-4,975	24,75	24,75	1,50	OK !	-114,15
29	-4,975	-3,475	24,75	12,08	1,50	OK !	-18,09
30	-4,975	3,475	24,75	12,08	1,50	OK !	427,00
31	-4,975	4,975	24,75	24,75	1,50	OK !	523,07
32	-4,975	6,475	24,75	41,93	1,50	OK !	619,13
33	-6,475	4,975	41,93	24,75	1,50	OK !	505,42
34	-6,475	3,475	41,93	12,08	1,50	OK !	409,36
35	-6,475	0,000	41,93	0,00	3,48	OK !	186,81
36	-6,475	-3,475	41,93	12,08	1,50	OK !	-35,73
37	-6,475	-4,975	41,93	24,75	1,50	OK !	-131,79
Nilai Pta _{max} (<i>uplift</i>) maksimum							-210,21
Jumlah			837,0	862,4	Nilai Pa _{max} (<i>compress</i>) maksimum		736,18

(Sumber: Hasil analisis)

Berdasarkan hasil pendistribusian beban struktur atas ke tiang pile, diperoleh daya dukung izin tekan maksimum (Pa_{max}) yaitu 736,18 kN terdapat di titik tiang nomor 11, sedangkan daya dukung izin tarik keatas maksimum (Pt_{max}) yaitu 210,21 kN terdapat di titik tiang nomor 27 dengan jumlah total 37 tiang. $P_{ta_{max}} = 210,21 < P_{ta} = 245,98\text{kN}$ OK!

3.7 Cek kapasitas daya dukung izin angkat keatas (*uplift*) maksimum

Periksa kapasitas daya dukung izin Tarik keatas maksimum (Pt_{max}) terhadap daya dukung batas tarik keatas tiang maksimum (Pta)

$$P_{ta_{max}} = 210,21 < P_{ta} = 245,98\text{kN} \text{ OK!}$$

3.8 Cek kapasitas daya dukung izin tekan (*compress*) maksimum

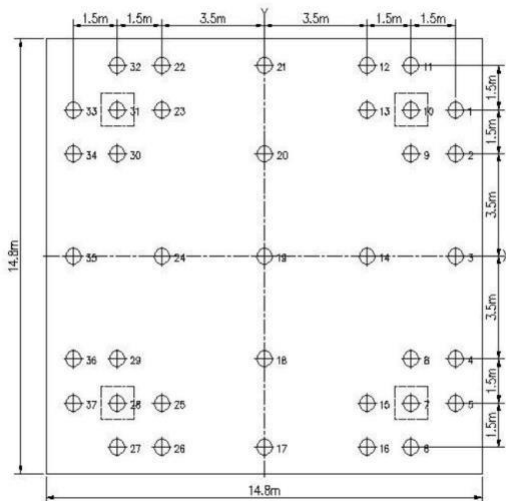
Periksa kapasitas daya dukung izin tekan maksimum ($P_{a_{max}}$) terhadap daya dukung batas tekan tiang maksimum (P_a).

dengan: $P_{a_{max}} < P_a$ OK!
 $736,18 < 1700,91$ kN OK!

3.9 Cek efisiensi kelompok tiang (Eg)

Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus *Converse-Labbarre* dari *Uni form Building Code AASHTO* adalah:

baris $n = 7$
 baris $m = 7$



Gambar 5 koordinat titik *bore pile*

$$E_g = 1 - \theta \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right)$$

$$E_g = 1 - \frac{(\tan^{-1} 14.8/1.5)}{90} \left(\frac{(7-1)7 + (7-1)7}{49} \right)$$

$E_g = 0,585$

Kontrol efisiensi kelompok tiang terhadap tekan adalah:

$= 0,585 \times 37 \times 1700,91$
 $= 36800$ kN
 $= 36800$ kN $> 9730,372$ kN OK!

3.10 Kontrol Terhadap Guling (Overtuning)

Kestabilan struktur terhadap kemungkinan

terguling dihitung dengan persamaan berikut:

dengan:

Momen guling (ME):

$$F = \sqrt{159,1^2 + 1048,3^2}$$

$$F = 1060,285$$
 kN

$$M = \sqrt{53812,6^2 + 9631,6^2}$$

$$M = 54667,726$$
 kNm

maka momen guling (ME):

$$ME = (1060,285 \times 2,5) + 54667,726$$

$$ME = 57318,439$$
 kNm

Momen penahan (MG)

$$= 0,5 \times 14,8 \times (6224,83 + 37 \times 27,173 + 2688,748 + 37 \times 1094,02/5 + 1108,9)$$

$$MG = 141514,591$$
 kNm

Kontrol terhadap guling:

$$SF = \frac{141514,591}{57318,439} = 2,469 \geq 1,5$$
 OK!

Faktor keamanan terhadap guling lebih dari 1,5 maka dinyatakan aman.

3.11 Analisis Keruntuhan Kelompok Tiang (Block failure of Pile Grup)

Perhitungan nilai daya dukung kelompok tiang digunakan persamaan Terzaghi dan Peck (1948).

$$Q = (2 \times 9 (14,8 + 14,8) \times 274,13 + 1,3 \times 274,13 \times 1,5 \times 7,35 \times 14,8 \times 14,8) \times 1/3$$

$$= 268615,491$$
 kN
 $= Q > N_c$
 $= 268615,491$ kN $\geq 9730,372$ kN OK!

Kapasitas dukung kelompok tiang (P) lebih besar dari gaya aksial yang terjadi (N_c) dinyatakan aman.

3.12 Penurunan Seketika (Immediate Settlement)

Penurunan segera adalah penurunan yang dihasilkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan dan terjadi pada volume konstan. Perhitungan penurunan seketika menggunakan Metode Janbu, Bjerrum, and Kjaernsli (1956) Analisis penurunan seketika disajikan pada Tabel. 3 berikut.

Tabel.3 Analisis penurunan seketika

Depth	B	L	q	H	H/B	Df/B	μ_1	μ_0	E_u	Si
(m)	(m)	(m)	(ton/m ²)	(m)					(ton/m ²)	(mm)
6,67	19,467	19,467	2,618	1,00	0,051	0,342	0,07	0,9	3500	0,917
7,67	20,467	20,467	2,369	1,00	0,049	0,375	0,07	0,89	1400	2,157
8,67	21,467	21,467	2,153	0,33	0,016	0,404	0,07	0,89	5000	0,576
9,00										

Sumber: Hasil Analisis

Total penurunan segera (Si) = 3.651 mm

3.13 Penurunan Konsolidasi (Consolidasi Settlement)

Perhitungan penurunan konsolidasi Disajikan pada Tabel. 4 sebagai berikut.

Tabel.4 Analisis penurunan konsolidasi

Depth	Z	m	n	Iz	4 $\Delta p'$	qc	α	Sc
(m)	(cm)				(kg/cm ²)	(kg/cm ²)		(cm)
6,67	100	9,13	9,13	0,25	0,297	175	2,54	0,188
7,67	200	4,57	4,57	0,25	0,297	70	1,36	0,252
8,67	300	3,04	3,04	0,23	0,274	250	3,39	0,161
9,00								

Sumber: Hasil Analisis

Total penurunan konsolidasi (Sc) = 0,601 cm

3.14 Penurunan Total (S)

Total penurunan

$$S = S_i + S_C$$

$$= 3,651 + 6,010$$

$$= 9,66 \text{ mm} < 25 \text{ mm (safety factor) OK!}$$

Hasil total penurunan tidak melebihi faktor keamanan yaitu 25 mm, maka dinyatakan aman.

4. KESIMPULAN

Pondasi *raft pile* untuk tower transmisi tipe CC+9 500kV dapat disuport dengan jumlah *bored pile* 37 titik, kedalaman *bored pile* 9 meter, lebar dimensi *raft* 14,8 meter x 14,8 meter dengan tebal *raft* 1,2 meter, pondasi aman terhadap daya tarik keatas (*uplift*) dan daya tekan (*compress*), karena tidak melebihi daya dukung batas tarik keatas tiang maksimum (Pta) maupun daya dukung batas tekan tiang maksimum (Pa). Stabilitas menara terhadap pondasi aman terhadap guling, dan aman terhadap keruntuhan kelompok tiang. Total penurunan pondasi dari penjumlahan penurunan seketika dan penurunan konsolidasi didapat hasil total penurunan yaitu 9,66 mm tidak melebihi faktor keamana yaitu 25 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Bukaka Teknik Utama, PT. Tbk. (2019). *Transmission Line Tower Design Project*. Dokumen, Bogor.
- Habibah, I.M. (2016). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Tunggal Akibat Gaya Lateral pada Proyek Whiz Hotel Bogor.
- Hutabarat, L. E. (2001). Prediksi Kapasitas Tarik Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Uji Pembebanan Tarik Di Lapangan (Studi Kasus Di Surabaya). *EMAS*, 11(25), 59–69.
- Hutabarat, L. E., & Pasaribu, F. (2013). Studi Perbandingan Dimensi Pondasi Tiang Pancang dengan Tiang Bor untuk Memenuhi Kapasitas Dukung Gedung KBK FK-UKI. *Prosiding Seminar Karya*

Ilmiah Dosen UKI, 1(1), 481–500.

- Ihsan, P., & Rahayu, T. (2017). Analisis Kesetabilan Pondasi Pada Menara Telekomunikasi. *Jurnal Konstruksia*, 8(2), 53 – 70.
- Lim, A. (2014). Evaluasi Formula Penentuan Daya Dukung Aksial Tiang Pancang Tunggal Menggunakan Data CPT berdasarkan Metode Langsung (Direct Method). *LPPM Universitas Katolik Parahyangan*, 18(1), 1–13.
- Nugroho, S. A., Komara, R. T. & Sibarani, A. S. (2014). Optimasi Biaya Alternatif Pemilihan Pondasi di kota Pekanbaru. *Jurnal APTEK*, 6(1), 1 – 16.
- Pamungkas, A., & Harianti, E. (2013). *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Andi, Yogyakarta.
- Rahman, A. A., Hariati, F., Chayati, N., & Taqwa, F. M. L. (2020). Korelasi Nilai Daya Dukung Ultimit Tiang Bor Hasil Analisis dengan Hasil Pengujian Pda Test (Studi Kasus: Pembangunan Jalan Tol Bogor Ring Road Seksi III A Ruas Simpang Yasmin-Simpang Salabenda). *Jurnal Komposit*, 4(2), 43-49.
- Sitohang, E. A. G., & Roesyanto. (2014). Desain Pondasi Telapak dan Evaluasi Penurunan Pondasi. *Jurnal Teknik Sipil USU*, 3(1), 1–16.
- Taqwa, F. M. L., Hutabarat, L. E., Ilyas, T., & Prakoso, W. A. (2019). Estimation of Settlement Induced Land Subsidence of Marine Clay on Kamal Muara Area, Northern Jakarta, Based on the Change of Pore Water Pressure. *Journal of Physics: Conference Series*, 1376(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1376/1/012007>