

Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile pada Proyek Pembangunan Menara Listrik Transmisi 500 KV Peranap-Perawang

Andre Chandra¹, Gusneli Yanti², Shanti Wahyuni Megasari³.

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning

Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email: andrechandra07@yahoo.com, gusneli@unilak.ac.id, shanti@unilak.ac.id

ABSTRAK

Pondasi *bored pile* berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas, dimana terjadi perubahan jenis pondasi dalam proyek pembangunan menara transmisi 500 kV. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui daya dukung pondasi *bored pile* menara transmisi 500 kV. Metode yang digunakan adalah metode Aoki dan de Alencar, metode Schmertmann dan Nottingham, metode Meyerhoff, dan metode Guy Sangrelatt. Selanjutnya, dikarenakan *bored pile*-nya adalah kelompok tiang, maka digunakan pula dua jenis metode efisiensi kelompok tiang, yaitu metode Converse-Labarre dan metode Los Angeles Group. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa untuk pondasi *bored pile* dengan jumlah 16 tiang, kedalaman 6 meter dan diameter tiang sebesar 40 cm, diperoleh nilai daya dukung pondasi ultimit *bored pile* yang paling minimum adalah sebesar 1487,845 kN untuk menahan beban *compression* terfaktor menara sebesar 644,072 kN kondisi normal. Sementara untuk daya dukung ijin tarik pondasi *bored pile*, diperoleh nilai sebesar 240,562 kN, tidak mencukupi untuk menahan beban *uplift* terfaktor menara sebesar 479,497 kN. Untuk mengatasinya, maka diperlukan penambahan jumlah tiang menjadi 25 buah dan menambah kedalaman menjadi 7,6 meter, sehingga diperoleh nilai daya dukung ijin tarik sebesar 490,399 kN, yang dapat menambah daya dukung pondasi *bored pile*.

Kata Kunci: *bored pile*, daya dukung, kelompok tiang, sondir

ABSTRACT

Bored pile foundation interacted with soil to makes a bearing capacity which capable of carrying and providing security in upper structure, to solve the foundation type changed design of 500 kV transmission tower. The purpose is to knowing the bearing capacity of bored pile foundation on it. Methods to analyze are Aoki and de Alencar, Schmertmann and Nottingham, Meyerhoff, and Guy Sangrelatt method. Because the pile are in groups, they are necessary to calculate the efficiency of pile group, so it using two methods of efficiency, like Converse-Labarre and Los Angeles Group methods. Results of the calculation, the ultimate bearing capacity value of 16 piles, 6 meters depth, and 40 centimeters' diameter of bored pile is amount 1487,845 kN at the least to hold the tower's factored compression load amount 644,072 kN in normal condition. Than, the pull bearing capacity is amount 240,562 kN. That can't be enough to hold the tower's factored uplift load amount 479,497 kN. The solve is making addition by the number of piles become 25 units, and add depth become 7,6 meter, so obtained the value of pull bearing capacity amount 490,399 kN, and it's can be add the bored pile's bearing capacity.

Keywords: *bored pile*, bearing capacity, pile groups, sondir

1. PENDAHULUAN

Dalam pembangunannya, transmisi listrik memiliki beberapa menara penghubung yang dibangun sesuai dengan ketinggian tertentu pada beberapa titik yang sudah ditentukan. Dalam pembangunan menara listrik, tahapan yang cukup penting adalah perencanaan pondasinya. Menara listrik dapat menggunakan pondasi dangkal maupun pondasi dalam sesuai dengan kondisi tanah di lokasi pembangunan. Baik pondasi dangkal maupun pondasi dalam, mengharuskan untuk melakukan penyelidikan tanah melalui beberapa metode yang umum dilaksanakan di setiap tahapan pembangunan pondasi.

Pondasi *bored pile* dipakai apabila tanah dasar yang kokoh yang mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam, yaitu kurang lebih 15 m. *Bored pile* berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan kuat dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Perencanaan pondasi *bored pile* mencakup rangkaian kegiatan yang dilaksanakan dengan berbagai tahapan yang meliputi studi kelayakan dan perencanaan teknis. Semua ini dilakukan supaya menjamin hasil akhir suatu konstruksi yang kuat, aman, serta ekonomis.

Untuk menghasilkan kuat dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga.

Penyelidikan tanah yang umum digunakan dalam proyek pembangunan ada 2 macam, diantaranya melalui uji sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) dan *Standard Penetration Test* (SPT). Karena terbatasnya cara pengujian dilapangan, maka hanya digunakan uji sondir (CPT) untuk penyelidikan tanah yang bertujuan mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah yang merupakan indikasi dari kekuatan dukung lapisan tanah dengan menggunakan rumus empiris.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui daya dukung pondasi *bored pile*.

2. METODE PENELITIAN

Untuk menganalisis daya dukung pondasi bored pile pada proyek pembangunan Menara Transmisi Listrik 500 kV ini yang terletak di Kecamatan Pangkalan Lesung, Kabupaten Pelalawan, penulis memperoleh data antara lain dari kontraktor PT. Waskita Karya diperoleh berupa data hasil sondir, dan data pembebanan.

Data Perencanaan Teknis dan Pembebanan Menara

Data teknis *bored pile* yang akan dianalisis seperti pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Data Perencanaan Teknis *Bored Pile*

No	Jenis	Keterangan
1	Panjang <i>bored pile</i>	600 cm
2	Diameter <i>bored pile</i>	Ø40 cm
3	Jumlah <i>pile</i>	4 x 4 = 16 buah

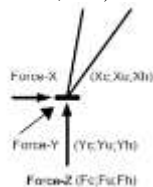
(Sumber : Analisis, 2018)

Data pembebanan menara seperti seperti pada Tabel 2 dan Gambar 1.

Tabel 2. Data Beban Maksimum Struktur Menara Tipe 4AA+12

Type Pembebanan*)	Kondisi	Support Reaction (Max)	Force - X (kN)	Force - Y (kN)	Force - Z (kN)
Vertical	Normal	Compression	2604,523	526,460	536,727
		Uplift	1884,298	396,270	399,581
	Broken	Compression	1961,082	361,748	424,313
		Uplift	1227,741	224,227	282,435

*) Tidak termasuk faktor beban overload (1,2)
(Sumber : PT. Bukaka Teknik Utama, 2016)



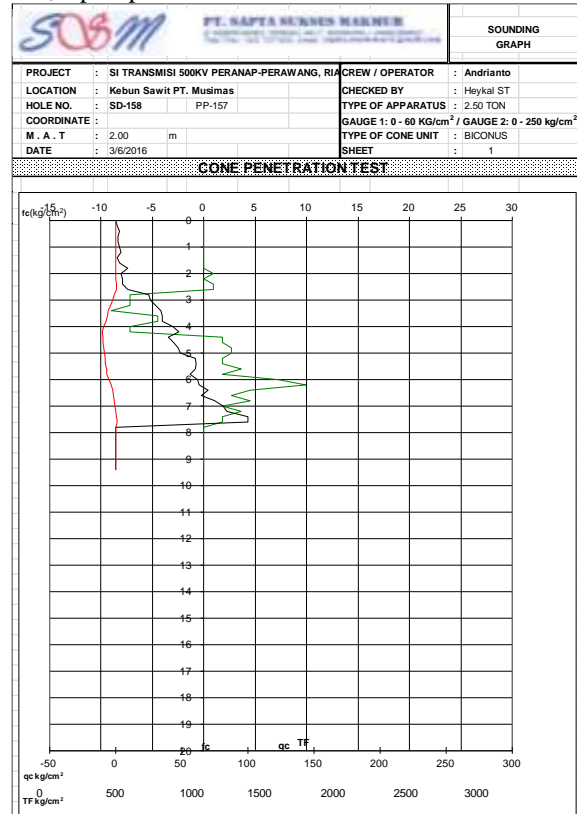
Gambar 1. Support Reaction 500 kV 4-Circuit Suspension Tower 4AA

(Sumber : PT. Bukaka Teknik Utama, 2016)

Data Sondir

Data sondir yang dilakukan pada lokasi penelitian akan digunakan untuk analisa daya dukung pondasi *bored*

pile menara listrik transmisi 500 kV, yaitu pada titik PP-157, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Sondir Lokasi Proyek di Titik PP-157
(Sumber : PT. Waskita Karya, 2016)

Metode Analisis

Dalam perhitungan perencanaan pondasi tiang ini, penulis melakukan analisis perhitungan daya dukung pondasi *bored pile* menggunakan metode-metode yang akan dijelaskan kemudian, dan menyimpulkan hasilnya. Adapun langkah perhitungan yang akan digunakan untuk analisis daya dukung pondasi *bored pile* menggunakan data sondir diantaranya yaitu Metode Aoki dan De Alencar, Metode Schmertmann dan Nottingham, Metode Meyerhoff, dan Metode Guy Sangrelatt.

Metode Aoki dan de Alencar

Aoki dan de Alencar mendefinisikan kuat dukung ultimit pondasi *bored pile* yang dinyatakan dengan rumus:

$$Q_u = q_b \times A_b \tag{1}$$

Keterangan :

Q_u = Kapasitas daya dukung *bored pile* (kN)

q_b = Tahanan ujung sondir (kN/m²)

A_b = Luas penampang tiang (m²)

Aoki dan de Alencar mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari data sondir. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) diperoleh sebagai berikut:

$$q_b = \frac{q_{ca} (base)}{F_b} \tag{2}$$

Keterangan :

$q_{ca} (base)$ = Perlawanan konus rata-rata 1,5 D diatas ujung

tiang, 1,5 D di bawah ujung tiang
 F_b = Faktor empirik yang tergantung pada tipe tiang pancang

Metode Schmertmann dan Nottingham

Berbeda dengan Aoki dan de Alencar, Schmertmann dan Nottingham merumuskan kuat dukung ultimit neto (Q_u), yang dihitung dengan persamaan :

$$Q_u = A_b f_b + A_s f_s \quad (3)$$

$$\text{atau } Q_u = A_b \omega q_{ca} + A_s K_f q_f \quad (4)$$

Keterangan :

- A_b = Luas penampang tiang (cm^2)
- A_s = Luas selimut tiang (cm^2)
- f_b = Tahanan ujung satuan (kg/cm^2)
- f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2)
- q_{ca} = Tahanan konus rata-rata (kg/cm^2)
- q_f = Tahanan gesek sisi konus (kg/cm^2)
- K_f = Koefisien tak berdimensi
- ω = Koefisien korelasi

Dalam metode Schmertmann dan Nottingham (1975) tahanan ujung tiang per satuan luas, diperoleh dari nilai rata-rata q_c disepanjang 8d diatas dasar tiang sampai 0,7d atau 4d di bawah tiang.

Metode Meyerhoff

Sama halnya seperti Metode Schmertmann dan Nottingham, perhitungan daya dukung pondasi *bored pile* oleh Metode Meyerhoff juga memperhitungkan tahanan ujung dan tahanan gesek. Berikut adalah langkah perhitungannya:

$$f_b = \omega_1 \omega_2 q_{ca} \quad (5)$$

Keterangan :

- f_b = Tahanan ujung satuan, untuk tiang bor diambil 70% atau 50%-nya (kg/cm^2)
- q_{ca} = q_c rata-rata (kN/m^2) pada zona 1d di bawah ujung tiang dan 4d di atasnya
- ω_1 = $[(d + 0,5) / 2d]^n$; koefisien modifikasi pengaruh skala, jika $d > 0,5$ m $\omega_1 = 1$
- ω_2 = $L/10d$; koefisien modifikasi untuk penetrasi tiang dalam lapisan pasir padat saat $L < 10d$, Jika $L > 10d$, $\omega_2 = 1$
- d = Diameter tiang (m)
- L = Kedalaman penetrasi tiang di dalam lapisan pasir padat (m)
- N = Nilai eksponensial [(1 untuk pasir longgar ($q_c < 5$ MPa), (2 untuk pasir kepadatan sedang (5 MPa $< q_c < 12$ MPa), (3 untuk pasir padat ($q_c > 12$ MPa))

Untuk tiang pancang, tahanan gesek satuan diambil salah satu dari:

$$f_s = K_f q_f \text{ dengan } K_f = 1 \quad (6)$$

atau, bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus :

$$f_s = K_c q_c \text{ dengan } K_c = 0,005 \quad (7)$$

Keterangan :

- f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2)
- K_f = Koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus

K_c = Koefisien modifikasi tahanan konus

Untuk tiang bor, Meyerhoff menyarankan menggunakan faktor reduksi 70% dan 50% dalam menghitung tahanan gesek tiang dengan menggunakan persamaan (6) dan (7).

Metode Guy Sangrelatt

Pamungkas A, dan Harianti, E (2013) 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.

Analisis daya dukung ijin tekan pondasi tiang terhadap kekuatan tanah mempergunakan formula sebagai berikut:

$$P_a = \frac{q_c \times A_p}{FK1} + \frac{T_f \times A_{st}}{FK2} \quad (8)$$

Keterangan :

- P_a = Daya dukung ijin tekan tiang (kg)
- q_c = Tahanan ujung konus sondir (kg/cm^2)
- A_p = Luas penampang tiang (cm^2)
- A_{st} = Keliling penampang tiang (cm)
- T_f = Total friksi atau jumlah hambatan pelekat (kg/cm)
- FK1, FK2= Faktor keamanan, 3 dan 5

Analisis daya dukung ijin tekan pondasi tiang terhadap kekuatan tanah mempergunakan formula sebagai berikut:

$$P_{ta} = \frac{T_f \times A_{st}}{FK2} + W_p \quad (9)$$

Keterangan :

- P_{ta} = Daya dukung ijin tarik tiang (kg)
- W_p = Berat pondasi (kg)
- A_{st} = Keliling penampang tiang (cm)
- T_f = Total friksi atau jumlah hambatan pelekat (kg/cm)
- FK2 = Faktor keamanan, 5

Efisiensi Kelompok Tiang

Kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok dihitung berdasarkan faktor efisiensi, yaitu menggunakan Metode Converse-Labarre dan Los Angeles Group.

Metode Converse-Labarre

$$\eta = 1 - \theta \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \right] \quad (10)$$

Keterangan:

- η = Efisiensi kelompok tiang
- m = Jumlah tiang dalam satu kolom
- n = Jumlah tiang dalam satu baris
- θ = arc tg D/S dalam satu baris
- s = Jarak pusat ke pusat tiang
- d = Diameter tiang

Metode Los Angeles Group

$$\eta = 1 - \frac{D}{s.m.n'} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(n-1)(m-1)] \quad (11)$$

Keterangan:

- η = Efisiensi kelompok tiang

- m = Jumlah tiang dalam satu kolom
- n = Jumlah tiang dalam satu baris
- s = Jarak pusat ke pusat tiang
- d = Diameter tiang
- n' = Jumlah tiang

Setelah faktor efisiensi diperoleh, maka kapasitas kelompok izin tiang (Q_g) sebesar :

$$Q_g = \eta \times n' \times Q_u \tag{12}$$

Keterangan:

- Q_g = Kapasitas kelompok izin tiang
- η = Efisiensi kelompok tiang
- n' = Jumlah tiang
- Q_u = Kapasitas dukung ultimit tiang

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan grafik sondir diperoleh kedalaman tiang rencana $h = 7,6$ meter dengan nilai kapasitas dukung pada ujung tiang (q_c) = 100 kg/cm^2 . Adapun data tiang bor (*bored pile*) adalah tiang bor dengan diameter 40 cm, dan kedalaman 6 meter.

Metode Analisis

Dari keempat metode yang akan digunakan akan dipilih hasil perhitungan daya dukung yang paling kritis.

Metode Aoki dan de Alencar

Perhitungan metode Aoki dan de Alencar menentukan tahanan konus berdasarkan dari kedalaman 1,5 D di atas ujung tiang dan 1,5 D di bawah ujung tiang.

1. Kedalaman 1,5 D diatas ujung tiang
 $1,5 D = 1,5 \times 40 \text{ cm} = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$
 jumlah data = 4 buah

Tabel 3. Tahanan Konus Rata-Rata 1,5 D Di Atas Kedalaman Ujung Tiang

No.	Kedalaman (m)	q_c (kg/cm ²)	Rata-rata
1	5,40	61	$q_{c1} = \frac{\sum q_c}{\sum n} = \frac{239}{4} = 59,75$
4	5,60	60	
5	5,80	56	
6	6,00	62	
$\Sigma =$	4 data	239	

Sumber : (Analisis, 2018)

2. Kedalaman 1,5 D dibawah ujung tiang
 $1,5 D = 1,5 \times 40 \text{ cm} = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$
 jumlah data = 4 buah

Tabel 4. Tahanan Konus Rata-Rata 1,5D Di Bawah Kedalaman Ujung Tiang.

No.	Kedalaman (m)	q_c (kg/cm ²)	Rata-rata
1	6,40	70	$q_{c2} = \frac{\sum q_c}{\sum n} = \frac{260}{4} = 65$
2	6,60	65	
3	6,20	63	
4	6,00	62	
$\Sigma =$	4 data	260	

Sumber : (Analisis, 2018)

3. Tahanan kerucut rata-rata

$$q_{ca} = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} = \frac{59,75 + 65}{3,5} = 62,38 \text{ kg/cm}^2$$

4. Hitung tahanan ujung tiang

Berdasarkan Tabel 3.5 nilai F_b untuk *bored pile* adalah 3,5, maka:

$$q_b = \frac{q_{ca} \text{ (base)}}{F_b} = \frac{62,38}{3,5} = 17,82 \text{ kg/cm}^2 = 1748,28 \text{ kN/m}^2$$

5. Kuat dukung ultimit

$$A_b = \frac{1}{4} \pi (40)^2 = 1256 \text{ cm}^2 = 0,1256 \text{ m}^2$$

$$Q_u = q_b \times A_b = 1849,14 \times 0,1256 = 219,584 \text{ kN}$$

Pada perhitungan kapasitas pondasi *bored pile* dengan sondir tidak diperhitungkan kuat dukung selimut *bored pile*. Hal ini dikarenakan perlawanan geser tanah yang terjadi pada pondasi *bored pile* dianggap sangat kecil sehingga dianggap tidak ada. Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit dengan faktor aman tertentu.

$$Q_a = \frac{Q_u}{2} = \frac{219,584}{2} = 109,792 \text{ kN}$$

Metode Schmertmann dan Nottingham

Schmertmann dan Nottingham mendefinisikan tahanan konus pada rata-rata 8 D di atas ujung tiang, dan 4 D di bawah ujung tiang.

1. Kedalaman 8d diatas ujung tiang
 $8 D = 8 \times 40 \text{ cm} = 320 \text{ cm} = 3,2 \text{ m}$
 jumlah data = 17 buah

Tabel 5. Tahanan Konus Rata-Rata 8d Di atas Kedalaman Ujung Tiang.

No.	Kedalaman (m)	q_c (kg/cm ²)	Rata-rata
1	2,80	25	$q_{c1} = \frac{\sum q_c}{\sum n} = \frac{755}{17} = 44,42$
2	3,00	26	
3	3,20	30	
4	3,40	34	
5	3,60	35	
6	3,80	35	
7	4,00	43	
8	4,20	48	
9	4,40	40	
10	4,60	44	
11	4,80	47	

12	5,00	49
13	5,20	60
14	5,40	61
15	5,60	60
16	5,80	56
17	6,00	62
Σ=	17 data	755

(Sumber : Analisis, 2018)

- Kedalaman 4d dibawah ujung tiang
 $4 D = 4 \times 40 \text{ cm} = 160 \text{ cm} = 1,6 \text{ m}$
 jumlah data = 9 buah

Tabel 6. Tahanan Konus Rata-Rata 4d Di Bawah Kedalaman Ujung Tiang

No.	Kedalaman (m)	qc (kg/cm ²)	Rata-rata
1	6,00	62	$q_{c2} = \frac{\sum q_c}{\sum n} = \frac{700}{9} = 77,78$
2	6,20	63	
3	6,40	70	
4	6,60	65	
5	6,80	75	
6	7,00	81	
7	7,20	84	
8	7,40	100	
9	7,60	100	
Σ=	9 data	700	

(Sumber : Analisis, 2018)

- Tahanan kerucut rata-rata

$$q_{ca} = \frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2})$$

$$= \frac{1}{2} (44,42 + 77,78)$$

$$= 61,10 \text{ kg/cm}^2$$

- Hitung tahanan ujung tiang

$$f_b = \omega q_{ca} \leq 150 \text{ kg/cm}^2$$

Asumsi kondisi tanah kerikil halus, maka nilai faktor

$$\omega = 0,5 \text{ (Tabel 3.4)}$$

$$f_b = 0,5 \times 61,10 = 30,547 \text{ kg/cm}^2 \leq 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_b = A_b \cdot f_b$$

$$= \frac{1}{4} \pi (40)^2 \times 30,547 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 38367,516 \text{ kg}$$

$$= 376,385 \text{ kN}$$

- Kuat dukung ultimit

Berat sendiri tiang:

$$W_p = 2400 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \pi (0,4)^2 \times 6$$

$$= 1809,557 \text{ kg}$$

$$= 17,75 \text{ kN}$$

$$Q_u = Q_b - W_p$$

$$= 376,385 - 17,75$$

$$= 358,633 \text{ kN}$$

Dengan menggunakan faktor aman F = 2,5, diperoleh kapasitas ijin tiang:

$$Q_u^{\wedge} = \frac{358,633}{2,5}$$

$$= 143,453 \text{ kN}$$

Metode Meyerhoff

Meyerhoff mendefinisikan tahanan konus dari kedalaman 1 D di bawah ujung tiang, dan 4 D di atas ujung tiang.

- Kedalaman 1d di bawah ujung tiang

$$1 D = 1 \times 40 \text{ cm} = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$$

jumlah data = 3 buah

Tabel 7. Tahanan Konus Rata-Rata 1d Di Bawah Kedalaman Ujung Tiang

No.	Kedalaman (m)	qc (kg/cm ²)	Rata-rata
-----	---------------	--------------------------	-----------

1	6,00	62	$q_{c2} = \frac{\sum q_c}{\sum n} = \frac{195}{3} = 65$
2	6,20	63	
3	6,40	70	
Σ=	3 data	195	

(Sumber : Analisis, 2018)

- Kedalaman 4d di atas ujung tiang
 $4 D = 4 \times 40 \text{ cm} = 160 \text{ cm} = 1,6 \text{ m}$
 jumlah data = 9 buah

Tabel 8. Tahanan Konus Rata-Rata 4d Di Atas Kedalaman Ujung Tiang

No.	Kedalaman (m)	qc (kg/cm ²)	Rata-rata
1	4,40	40	$q_{c2} = \frac{\sum q_c}{\sum n} = \frac{474}{9} = 52,67$
2	4,60	44	
3	4,80	47	
4	5,00	49	
5	5,20	60	
6	5,40	61	
7	5,60	60	
8	5,80	56	
9	6,00	62	
Σ=	9 data	474	

(Sumber : Analisis, 2018)

- Tahanan ujung per satuan luas

$$q_{ca} = \frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2})$$

$$= \frac{1}{2} (65 + 52,67)$$

$$= 58,83 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 5771,55 \text{ kN/m}^2$$

$$d = 0,4 \text{ m} < 0,5 \text{ m,}$$

$$N = 1 \text{ untuk pasir longgar } (q_c < 5 \text{ Mpa})$$

$$\omega_1 = [(d + 0,5) / 2d]^n$$

$$= [(0,4 + 0,5) / 2(0,4)]^1$$

$$= 1,125$$

untuk L = 6 meter, dan d = 0,4 meter, sehingga

$$10 d = 10 (0,4)$$

$$= 4 \text{ m}$$

Sehingga L > 10 d, maka $\omega_2 = 1$

$$f_b = \omega_1 \omega_2 q_{ca}$$

$$= 1,125 \times 1 \times 5771,55 \text{ kN/m}^2$$

$$= 6492,99 \text{ kN/m}^2$$

Untuk tiang bor diambil nilai $f_b = 50\%$

$$f_b = 50 \% \times 6588,563 \text{ kN/m}^2$$

$$= 3246,50 \text{ kN/m}^2$$

- Tahanan ujung

$$Q_b = A_b \cdot f_b$$

$$= \frac{1}{4} \pi (0,4)^2 \times 3246,50 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,1256 \text{ m}^2 \times 3246,50 \text{ kN/m}^2$$

$$= 407,97 \text{ kN}$$

- Kuat dukung ultimit

Berat sendiri tiang:

$$W_p = 2400 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \pi (0,4)^2 \times 6$$

$$= 1809,557 \text{ kg}$$

$$= 17,75 \text{ kN}$$

$$Q_u = Q_b - W_p$$

$$= 407,97 - 17,75$$

$$= 390,218 \text{ kN}$$

Dengan menggunakan faktor aman F= 2,5, diperoleh kapasitas ijin tiang:

$$Q_u^{\wedge} = \frac{390,218}{2,5}$$

$$= 156,09 \text{ kN}$$

Metode Guy Sangrelatt

Guy Sangrelatt mendefinisikan daya dukung ijin tiang terhadap tarik dan tekan tiang.

1. Daya dukung ijin tekan tiang

Daya dukung ijin tekan tiang berdasarkan data sondir pada kedalaman 6,00 m di bawah permukaan tanah. Berdasarkan Gambar 2, diperoleh nilai $q_c = 3 \text{ kg/cm}^2$, dan $T_f = 0 \text{ kg/cm}$.

$$d = 40 \text{ cm}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (40)^2 = 1256,637 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = \pi d = \pi (40) = 125,664 \text{ cm}$$

$$FK_1 = 3,$$

$$FK_2 = 5$$

$$P_a = \frac{q_c \times A_p}{FK_1} + \frac{T_f \times A_{st}}{FK_2} = \frac{3 \times 1256,637}{3} + \frac{0 \times 125,664}{5} = 25970,499 \text{ kg} = 201,351 \text{ kN}$$

Perhitungan untuk kedalaman selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Daya dukung ijin tekan tiang berdasarkan data sondir

Kedalaman (m)	q_c (kg/cm ²)	T_f (kg/cm)	P_{all} (kg)	P_{all} (kN)
1	3	0	1256,637	12,328
2	4	0,18	1680,040	16,481
3	26	0	10890,855	106,839
4	43	0	18011,798	176,696
5	49	0	20525,072	201,351
6	62	0	25970,499	254,771
6,2	63	0	26389,378	258,880
6,4	70	0	29321,531	287,644
6,6	65	0	27227,136	267,098
6,8	75	0	31415,927	308,190
7	81	0	33929,201	332,845
7,2	84	0,18	35190,362	345,217
7,4	100	0,54	41901,474	411,053
7,6	100	0,9	41910,522	411,142

(Sumber : Analisis, 2018)

2. Daya dukung ijin tarik tiang

Daya dukung ijin tekan tiang berdasarkan data sondir pada kedalaman 1,00 m di bawah permukaan tanah: Berdasarkan Gambar 2, diperoleh nilai $T_f = 0 \text{ kg/cm}$

rencana, $d = 40 \text{ cm}$

$$A_{st} = \pi d = \pi (40) = 125,664 \text{ cm}$$

$$FK_2 = 5$$

$$W_p = 2400 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \pi \times 0,4 \times 0,4 \times 6 = 1809,557 \text{ kg}$$

$$P_{ta} = \frac{T_f \times A_{st} \times 0,70}{FK_2} + W_p = \frac{0 \times 125,664 \times 0,70}{5} + 1809,557 = 1809,557 \text{ kg} = 17,752 \text{ Kn}$$

Perhitungan untuk kedalaman selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Daya dukung ijin tarik tiang berdasarkan data sondir

Kedalaman (m)	T_f (kg/cm ²)	W_p (kg)	P_{all} (kg)	P_{all} (kN)
1	0	301,593	301,593	2,959
2	0,18	603,186	606,353	5,948
3	0	904,779	904,779	8,876
4	0	1206,372	1206,372	11,835
5	0	1507,964	1507,964	14,793
6	0	1809,557	1809,557	17,752
6,2	0	1869,876	1869,876	18,343
6,4	0	1930,195	1930,195	18,935
6,6	0	1990,513	1990,513	19,527
6,8	0	2050,832	2050,832	20,119
7	0	2111,150	2111,150	20,710
7,2	0,18	2171,469	2174,636	21,333
7,4	0,54	2231,787	2241,288	21,987
7,6	0,9	2292,106	2307,940	22,641

(Sumber : Analisis, 2018)

Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok dihitung berdasarkan faktor efisiensi. Kelompok tiang yang akan dianalisis adalah data-data sebagai berikut:

- jumlah tiang dalam satu kolom (m) = 4 buah
- jumlah tiang dalam satu baris (n) = 4 buah
- jarak tiang ke tiang lainnya = 150 cm
- diameter tiang = 40 cm
- kedalaman tiang = 6 meter

Metode Converse – Labarre

$$\eta = 1 - \theta \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \right]$$

direncanakan : $m = 4$
 $n = 4$
 $d = 40 \text{ cm}$
 $s = 150 \text{ cm}$
 $\theta = \text{arc tg } d/s = 0,26$

maka : $\eta = 1 - 0,26 \left[\frac{(4-1)4 + (4-1)4}{90.4.4} \right] = 0,999$

Metode Los Angeles Group

$$\eta = 1 - \frac{D}{s.m.n'} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(n-1)(m-1)]$$

dimana : $m = 4$
 $n = 4$
 $d = 40 \text{ cm}$
 $s = 150 \text{ cm}$
 $n' = 16$

maka : $\eta = 1 - \frac{40}{150.4.16} [4(4-1) + 4(4-1) + \sqrt{2}(4-1)(4-1)] = 0,847$

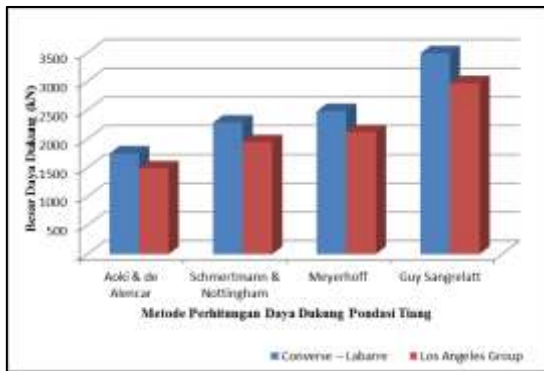
Daya dukung kelompok tiang

Masing-masing nilai kapasitas dukung dari perhitungan empat metode yang telah dihitung diatas, dikalikan dengan nilai efisiensi dan jumlah tiang seperti yang terlihat pada Tabel 11 dan Gambar 3.

Tabel 11. Rekapitulasi hasil perhitungan daya dukung kelompok tiang

Metode	Converse – Labarre (kN)	Los Angeles Group (kN)
Aoki & de Alencar	1794,044	1487,845
Schmertmann & Nottingham	2285,284	1944,003
Meyerhoff	2486,548	2115,211
Guy Sangrelatt	3490,422	2969,168

(Sumber : Analisis, 2018)



Gambar 3. Grafik perbandingan daya dukung kelompok tiang (Sumber : Analisis, 2018)

Dapat dilihat bahwa nilai daya dukung terendah adalah Metode Aoki dan de Alencar yaitu sebesar 1487,845 kN, dan tertinggi adalah Metode Guy Sangrelatt yaitu sebesar 2969,168 kN. Adapun jika diambil rata-rata untuk efisiensi menurut Converse-Labarre diperoleh nilai sebesar 2528,05 kN dan menurut Los Angeles Group adalah sebesar 2150,515 kN.

Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile terhadap Beban Struktur Menara

Dari tabel pembebanan yang diperoleh dari pihak kontraktor proyek, maka diambil beban maksimum khususnya beban vertikal dari struktur menara transmisi seperti terlihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Pembebanan maksimum struktur menara transmisi

Tipe Pembebanan*)	Kondisi	Support Reaction (Max)	Force - Z (kN)
Vertical	Normal	Compression	536,727
		Uplift	399,581
	Broken	Compression	424,313
		Uplift	282,435

(Sumber : PT. Bukaka Teknik Utama, 2016)

Faktor beban *overload* (darurat) yang disarankan oleh PT. Bukaka Teknik Utama adalah 1,2. Dengan demikian diperoleh beban terfaktor seperti terlihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Pembebanan terfaktor struktur menara transmisi

Tipe Pembebanan*)	Kondisi	Support Reaction (Max)	Force - Z (kN)
Vertical	Normal	Compression	644,072
		Uplift	479,497
	Broken	Compression	509,176
		Uplift	338,922

(Sumber : Analisis, 2018)

Dapat dilihat dari Tabel 13 bahwa kapasitas beban terfaktor menara transmisi sebesar 644,072 kN lebih kecil daripada daya dukung ijin rencana sebesar 1573,678 kN sehingga langkah selanjutnya adalah meninjau apakah pondasi tiang bor dapat menahan gaya tarik ke atas (*uplift*) dari struktur menara.

Tinjauan tiang menahan gaya tarik ke atas (uplift)

Untuk meninjau gaya tarik ke atas, digunakan metode Guy Sangrelatt yang dikombinasikan dengan metode Meyerhoff. Berdasarkan Tabel 10 dapat dilihat hasil Pall

(daya dukung tiang tunggal terhadap tarik) sehingga perlu dikalikan dengan jumlah tiang dan faktor efisiensi. Sehingga diperoleh untuk nilai daya dukung tiang kelompok adalah sebagaimana terlihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Perhitungan efisiensi daya dukung ijin tiang

Kedalaman m	TF kg/cm2	Wp kg	Pall kg	Pall kN	Qg1 kN	Qg2 kN
6	0	1809,557	1809,557	17,752	282,794	240,562
6,2	0	1869,876	1869,876	18,343	292,221	248,581
6,4	0	1930,195	1930,195	18,935	301,647	256,600
6,6	0	1990,513	1990,513	19,527	311,074	264,619
6,8	0	2050,832	2050,832	20,119	320,500	272,637
7	0	2111,150	2111,150	20,710	329,927	280,656
7,2	0,18	2171,469	2174,636	21,333	339,848	289,096
7,4	0,54	2231,787	2241,288	21,987	350,265	297,957
7,6	0,9	2292,106	2307,940	22,641	360,681	306,817

(Sumber : Analisis, 2018)

Dari Tabel 14 terlihat bahwa tidak ada kedalaman yang memenuhi kapasitas untuk beban *uplift* menara transmisi sebesar 479,497 kN. Maka perlu dipertimbangkan untuk menambah jumlah tiang, namun masih dengan diameter yang sama yaitu 40 cm. Dicoba jumlah tiang rencana adalah sebanyak 25 buah secara simetris 5 untuk arah x dan 5 untuk arah y dan kedalaman yang digunakan adalah 7,6 m. Dengan cara yang sama, maka diperoleh nilai daya dukung ijin tarik tiang bor adalah sebagai berikut:

1. Metode Converse - Labarre

$$\eta = 1 - \theta \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \right]$$

direncanakan : m = 5
 n = 5
 d = 40 cm
 s = 150 cm
 $\theta = \arctan(d/s) = 0,26$

maka : $\eta = 1 - 0,26 \left[\frac{(5-1)5 + (5-1)5}{90.5.5} \right] = 0,995$

Diambil kedalaman 7,6 m, sehingga diperoleh :

d = 40 cm
 $A_{st} = \pi d^2 = \pi (40)^2 = 125,664 \text{ cm}^2$
 $FK_2 = 5$
 $W_p = 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,4 \times 0,4 \times 7,6 = 2292,106 \text{ kg}$
 $P_a = \frac{T_F \times A_{st} \times 0,70}{FK_2} + W_p = \frac{0 \times 125,664 \times 0,70}{5} + 2292,106 = 2307,940 \text{ kg} = 22,641 \text{ kN}$

Maka nilai daya dukung kelompok tiang adalah:

$Q_g = \eta \times n^2 \times Q_u = 0,999 \times 25 \times 22,641 = 563,400 \text{ kN}$

2. Metode Los Angeles Group

$$\eta = 1 - \frac{D}{s.m.n^2} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(n-1)(m-1)]$$

dimana: m = 5
 n = 5
 d = 40 cm

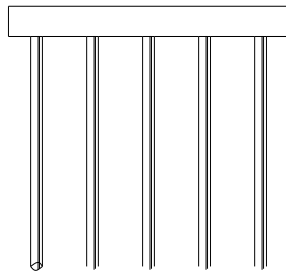
$$\begin{aligned}
 s &= 150 \text{ cm} \\
 n' &= 25 \\
 \text{maka: } \eta &= 1 - \frac{40}{150 \cdot 5 \cdot 25} [5(5-1) + 5(5-1) + \sqrt{2(5-1)(5-1)}] \\
 &= 0,866
 \end{aligned}$$

Maka nilai daya dukung kelompok tiang adalah:

$$\begin{aligned}
 Q_g &= \eta \times n' \times Q_u \\
 &= 0,866 \times 25 \times 22,641 \\
 &= 490,399 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh dimensi tiang bor adalah:

jumlah tiang dalam satu kolom (m)	= 5 buah
jumlah tiang dalam satu baris (n)	= 5 buah
jarak tiang ke tiang lainnya	= 150 cm
diameter tiang	= 40 cm
kedalaman tiang	= 7,6 meter



Gambar 4. Dimensi kelompok tiang bor
(Sumber: Analisis, 2018)

Dengan dimensi tersebut, maka diambil nilai efisiensi Metode Los Angeles Group yang paling minimum sebesar 490,399 kN memenuhi untuk menahan beban *uplift* menara sebesar 479,497 kN.

Pembahasan

Dari perhitungan daya dukung pondasi *bored pile* menggunakan 4 macam metode dan untuk efisiensi kelompok tiang menggunakan 2 metode diperoleh hasil untuk diameter 40 cm, kedalaman 6 meter, dan jumlah tiang sebanyak 16 buah adalah untuk Metode Aoki dan de Alencar diperoleh daya dukung sebesar 1794,044 kN untuk efisiensi Converse-Labarre dan 1487,845 kN untuk efisiensi Los Angeles Group. Lalu untuk Metode Schmertmann and Nottingham diperoleh nilai daya dukung sebesar 2285,284 kN untuk efisiensi Converse-Labarre dan 2444,003 kN untuk efisiensi Los Angeles Group. Selanjutnya untuk Metode Meyerhoff diperoleh nilai daya dukung sebesar 2486,548 kN untuk efisiensi Converse-Labarre dan 2115,211 kN untuk efisiensi Los Angeles Group. Terakhir untuk Metode Guy Sangrelatt diperoleh nilai daya dukung sebesar 3490,422 kN untuk efisiensi Converse-Labarre dan 2969,168 kN untuk efisiensi Los Angeles Group. Dapat dilihat bahwa nilai yang paling optimis atau yang terkecil untuk digunakan adalah Metode Aoki dan de Alencar, dan untuk efisiensi yang terkecil adalah Metode Los Angeles Group. Dalam perencanaannya, menara transmisi juga harus ditinjau terhadap gaya tarik ke atas (*uplift*).

Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung ijin tarik metode Guy Sangrelatt, diperoleh nilai daya dukung pondasi *bored pile* untuk dimensi dan kedalaman pondasi yang sama yaitu sebesar 282,794 kN untuk efisiensi Converse-Labarre dan 240,562 kN untuk efisiensi Los Angeles Group, sementara beban *uplift* menara transmisi

jauh lebih besar yaitu sebesar 479,497 kN kondisi normal. Maka dilakukan pendimensian ulang untuk *bored pile* yaitu dengan menambah jumlah tiang bor menjadi 25 buah, dan menambah kedalaman tiang bor sedalam 7,6 meter dengan diameter *bored pile* tetap yaitu 40 cm. Sehingga, untuk dimensi tersebut diperoleh kenaikan yang cukup signifikan untuk daya dukung pondasi sebesar 563,400 kN untuk efisiensi Converse-Labarre dan 490,399 kN untuk efisiensi Los Angeles Group. Hal ini memenuhi untuk menahan beban *uplift* menara transmisi, serta memenuhi pula untuk beban *compression* menara transmisi.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan diperoleh kesimpulan daya dukung pondasi *bored pile* untuk menara transmisi adalah mengenai Metode Aoki dan de Alencar lebih kritis dan paling minimum dari ketiga metode lainnya, dikarenakan banyak dipengaruhi oleh faktor empiris dalam perhitungan sehingga menghasilkan nilai terkecil daya dukung pondasi *bored pile*, yaitu sebesar 1487,845 kN untuk menahan beban *compression* menara transmisi, selanjutnya perhitungan daya dukung pondasi *bored pile* memenuhi untuk menahan beban *compression*, namun tidak memenuhi untuk menahan beban *uplift*. Maka dilakukan perencanaan ulang dengan cara menambah jumlah tiang dan menambah kedalaman tiang rencana, sehingga daya dukung pondasi *bored pile* yang diperlukan adalah sebesar 563,400 kN untuk efisiensi Converse-Labarre dan 490,399 kN untuk efisiensi Los Angeles Group. Dari hasil tersebut adalah digunakan nilai yang terkecil agar lebih aman.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bowless JE. 1991. *Analisa dan Desain Pondasi, Edisi Keempat Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Das BM, Endah N, Mochtar IB, 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- [3] Fadila S. 2004. Analisa Desain Struktur Dan Pondasi Menara Pemancar Tipe "Self Supporting Tower" Di Kota Palembang. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Sriwijaya* Vol. 2. No. 4: 682 – 691.
- [4] Guntoro H. 2009. *Menara Listrik (Tower Listrik)*. <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/01/menara-listrik-tower-listrik.html>. (diakses 28 Februari 2018).
- [5] Hardiyatmo HC. 2014. *Analisis dan Perancangan Pondasi I. Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [6] Hardiyatmo HC. 2015. *Analisis dan Perancangan Pondasi II. Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [7] Harianti E, dan Pamungkas A. 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta: Andi.