

# STABILITAS PONDASI BORE PILE UNTUK TOWER TIPE 4EE6+33 SLIM PADA RELOKASI SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI DK 129+920

**Sulis Adi Putra**  
**Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana**

**korespondensi: sulis.id@gmail.com**

## ABSTRAK

*Tower transmisi listrik membutuhkan fondasi yang kokoh untuk menopang beban struktur, satu jalur tower transmisi listrik sering kali berada pada kondisi tanah yang beragam, seperti sawah, hutan, perkebunan, dan area pemukiman. Dengan semakin dekatnya lokasi tower ke area pemukiman dan terbatasnya lahan, tower transmisi tipe slim yang memiliki bentang kaki tower minimal menjadi pilihan untuk efisiensi ruang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas daya dukung tanah, gaya tarik, gaya tekan, penurunan tanah dan diameter besi yang digunakan pada bore pile. Analisis stabilitas fondasi bore pile ini berada di lokasi Desa Pasawahan, Dayeuhkolot, Bandung Kidul dengan tipe tower 4EE6+33 slim dengan diameter bore pile 60 cm dan kedalaman 17 m. Metode analisis yang digunakan adalah Metode Reese & Wright, Metode Converse-Labarre dan Metode janbu, Bjerum, dan kjaernsli. Hasil analisis fondasi bore pile tower tipe 4EE6+33 slim menunjukkan gaya tekan sebesar 56,1 ton, gaya tarik sebesar 10,98 ton. Sedangkan analisis fondasi bore pile diameter 60 cm pada kedalaman 17 meter menunjukkan daya dukung selimut tiang sebesar 3474,429 kN/m<sup>2</sup>, daya dukung ujung tiang sebesar 721,286 kN/m<sup>2</sup>, daya dukung ultimit sebesar 4159,714 kN/m<sup>2</sup> dan daya dukung ijin sebesar 953,314 kN/m<sup>2</sup> serta analisis penurunan konsolidasi didapat hasil sebesar 24,79 mm < 25 mm. Perhitungan penulangan pada fondasi bore pile tower tipe 4EE6+33 slim tulangan bore pile dipakai 12 D19 mm dan tulangan spiral dipakai Ø10-150 mm.*

*Kata kunci:* Daya Dukung, Fondasi, Tower, Stabilitas, Bore pile.

## ABSTRACT

*Electricity transmission towers require a solid foundation to support the structural load, one electricity transmission tower line is often located on diverse land conditions, such as rice fields, forests, plantations, and residential areas. With the closer location of towers to residential areas and limited land, slim type transmission towers that have minimal tower leg spans are an option for space efficiency. The purpose of this study is to determine the soil bearing capacity, tensile force, compressive force, soil settlement and iron diameter used in bore pile. This bore pile foundation stability analysis is located in Pasawahan Village, Dayeuhkolot, Bandung Kidul with tower type 4EE6+33 slim with a bore pile diameter of 60 cm and a depth of 17m. The analysis methods used are Reese & Wright Method, Converse-Labarre Method and janbu, Bjerum, and kjaernsli Method. The results of the analysis of the bore pile tower foundation type 4EE6 + 33 slim show a compressive force of 56.1 tons, a tensile force of 10.98 tons. While the analysis of the 60 cm diameter bore pile foundation at a depth of 17 meters shows the bearing capacity of the pile blanket of 3474.429 kN/m<sup>2</sup>, the bearing capacity of the pile tip of 721.286 kN/m<sup>2</sup>, the ultimate bearing capacity of 4159.714 kN/m<sup>2</sup> and the allowable bearing capacity of 953.314 kN/m<sup>2</sup> and the consolidation settlement analysis obtained results of 24.79 mm < 25 mm. Reinforcement calculation on bore pile tower foundation type 4EE6+33 slim bore pile reinforcement used 12 D19 mm and spiral reinforcement.*

*Keyword:* Bearing capacity, Fondation, Tower, Stability, Bore pile.

## PENDAHULUAN

Sistem transmisi listrik terdiri dari rangkaian menara atau tower yang dibangun sesuai dengan topografi dan lokasi yang telah ditentukan. Struktur fondasi menjadi salah satu

komponen penting dalam memikul beban tower. Satu jalur tower transmisi sering kali melintasi berbagai jenis tanah dan topografi, seperti sawah, hutan, perbukitan, dan lereng. Sebagian besar menara transmisi saluran udara

berdasarkan data standard penetration test, menghitung efisiensi kelompok tiang, menghitung penurunan tanah, jumlah besi tulangan yang digunakan pada fondasi *bore pile* pada tower tipe 4EE6+33 *slim*.

tegangan tinggi dibangun jauh dari hunian masyarakat, namun dengan perkembangan saat ini, beberapa tower berada dekat dengan perumahan warga, sehingga lahan yang tersedia semakin terbatas. Karena itu, muncul kebutuhan untuk menggunakan lahan eksisting atau lahan baru yang terbatas, yang mengarah pada pengembangan tower slim dengan bentang kaki yang lebih kecil dan fondasi yang disesuaikan dengan keterbatasan lahan.

*Bore pile* yang menjadi salah satu jenis fondasi berperan penting dalam menciptakan kekuatan dukung dan kestabilan bagi struktur di atasnya. Perencanaan fondasi *bore pile* mencakup studi kelayakan dan perencanaan teknis mendetail untuk memastikan konstruksi yang aman, kuat, dan ekonomis. Proses ini melibatkan analisis dan pertimbangan teknis untuk memastikan fondasi memenuhi standar keamanan dan efisiensi jangka panjang.

Berdasarkan latar belakang yang ada, tujuan dari penelitian ini antara lain; bagaimana menghitung kapasitas daya dukung fondasi

## TINJAUAN PUSTAKA

### Tower Transmisi

Dalam jaringan transmisi listrik, energi dari pembangkit listrik dialirkan melalui saluran udara atau bawah tanah [1]. Tower transmisi udara berfungsi menopang pengantar listrik pada ketinggian yang aman, dilengkapi insulator untuk mencegah gangguan. Jenis tower yang umum digunakan meliputi tower rangka baja (*lattice*) dan tower monopole. Desain, fungsi, dan posisi tower memengaruhi kekuatan, efisiensi, serta kestabilan dan keamanan sistem transmisi listrik.

Tipe tower berdasarkan sudut belok digolongkan seperti pada tabel tipe tower berikut ini:

**Tabel 1: Tipe Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi**

No	Tipe Tower	Posisi Tower	Sudut Belok Jalur	Tipe Insulator
1	AA	Suspension	0°-3°	Gantung
2	BB	Tension	0°-20°	Tarik
3	CC	Tension	20°-40°	Tarik dengan jumper pada sisi luar
4	DD	Tension	40°-60°	Tarik dengan jumper pada sisi luar
5	EE	Tension	60°-90°	Tarik dengan jumper pada sisi luar
6	DDR	Tension	Terminal tower 0°-60°	Tarik dengan jumper pada sisi luar

Sumber: S-PLN T.5.014-1, 2021

Penentuan kelas fondasi tower dilakukan dengan menganalisis hasil Sondir menggunakan grafik Schmertmann. Berdasarkan nilai qc (tegangan tahanan titik) dan fr (koefisien gesekan), jenis tanah dapat

diidentifikasi sebagai kohesif, nonkohesif, atau campuran. Informasi ini penting untuk menentukan desain dan jenis fondasi yang tepat demi kestabilan dan keamanan struktur tower.

**Tabel 2: Kelas Fondasi Berdasarkan Sistem Kalendering**

Kelas Pondasi	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	6	7
Tipe Pondasi	Pondasi Telapak	Pondasi Tiang	Pondasi Telapak						
Jenis Tanah/Batuhan	Tanah Sangat Baik	Tanah Sangat Baik	Tanah Baik	Tanah Baik	Tanah Kondisi Normal	Tanah Kondisi Normal	Kondisi Batuan Lunak (Batuhan Non Homogen)	Kondisi Tanah Sangat Buruk, Ada Air Tanah	Tanah Kondisi Normal
Muka Air Tanah	Di bawah dasar tapak pondasi	Variasi	Di atas dasar tapak pondasi						
Daya Dukung Ijin $q_a$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	3,31 - 5,00	2,51 - 3,30	1,61 - 2,50	1,21 - 1,60	0,91 - 1,20	0,71 - 0,90	5,01 - 8,00	$\leq 0,5$	0,71 - 5,00
Sudut Frustum ( $\psi$ )	20°	20°	15°	15°	10°	10°	30°	0°	0°
Berat Jenis Tanah ( $\text{kg/m}^3$ )	1600	1600	1600	1600	1600	1600	2000	1950 / 950*)	950
Berat Jenis Beton ( $\text{kg/m}^3$ )	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400 / 1400*)	1400

**CATATAN:** \*) Digunakan saat menghitung menghitung gaya *uplift*.

Sumber: S-PLN T.5.014-1, 2021

### Penyelidikan Tanah

Tanah fondasi adalah bahan konstruksi dengan susunan yang kompleks, sehingga diperlukan penyelidikan lapangan untuk memperoleh data desain fondasi [2]. Metode penyelidikan meliputi penggalian, pengeboran, dan pengujian di lokasi untuk menganalisis sifat teknis tanah, daya dukung, dan penurunan [3].

Tujuan penyelidikan tanah secara umum:

- Menentukan daya dukung tanah untuk fondasi.
- Menentukan jenis dan tipe fondasi.
- Memberikan rekomendasi kapasitas beban fondasi.
- Mengevaluasi potensi masalah konstruksi.
- Mengetahui ketinggian air tanah.
- Mengidentifikasi masalah penggalian.

### 7. Mengatasi masalah lingkungan hidup.

Proses penyelidikan bisa dilaksanakan pada bangunan yang sudah ada atau yang akan dibangun kembali. Dengan adanya penyelidikan tindakan antisipasi yang diperlukan dapat diambil berdasarkan informasi atau bukti kerusakan yang diperoleh dan interpretasi ulang terhadap data asli.

### Fondasi Bore pile

Fondasi jenis ini adalah jenis fondasi tiang yang dipasang dengan cara mengebor tanah sebelum memasang besi tulangan dan menuangkan beton ke dalam lubang tiang [4]. Fondasi *bore pile* digunakan untuk menopang atau mendukung struktur bangunan yang lapisan tanah kerasnya relatif dalam.

Fondasi *bore pile* memiliki beberapa keunggulan, seperti: [5]

1. Kedalaman yang bisa disesuaikan dengan kondisi lapangan.
  2. Pelaksanaan yang lebih tenang dibanding tiang pancang.
  3. Menghindari getaran tanah yang dapat merusak bangunan sekitar.
  4. Tidak menyebabkan pergeseran tanah lempung seperti tiang pancang.
  5. Permukaan fondasi dapat diperiksa langsung.
  6. Mampu menahan beban lateral tinggi.

namun, fondasi *bore pile* juga memiliki beberapa kerugian, seperti:

  1. Gangguan kepadatan pada tanah berpasir atau berkerikil.
  2. Sulit mengontrol mutu beton jika terkena air tanah.
  3. Air yang masuk dapat mengurangi daya dukung tanah.
  4. Tidak dapat memperpanjang ujung tiang pada tanah berpasir.
  5. Mutu beton mungkin tidak seragam, terutama pada tiang bor yang dalam.

### **Kapasitas Daya Dukung Fondasi *Bore pile***

Daya dukung fondasi dapat dihitung dengan menggunakan banyak rumus empiris yang dikemukakan oleh para ahli. Data tanah sangat penting untuk merencanakan daya dukung tiang sebelum memulai konstruksi. Salah satu yang metode tersebut adalah metode Reese & Wright.

Daya dukung tiang *bore* dihitung berdasarkan data N-SPT menggunakan metode Reese &

wright, untuk daya dukung ujung tiang pada tanah kohesif :

$Q_s = a x C_u x P x L_i$  ..... 2.2  
dengan:

Untuk tanah non kohesif

Menurut Reese & Wright (1977) koefisien  $\alpha$  untuk *bore pile* adalah 0.55

dimana:

$Q_p$  = daya dukung ujung tiang

$Q_s$  = luas penampang

$A_p$  = daya dukung selimut tiang

$P$  = keliling penampang tiang

*Cu* = kohesi tanah

$N_{spt}$  = Nspt rata rata dari 10D sampai 4D

Sehingga daya dukung ujung ultimit ( $Q_u$ ) adalah:

## Efisiensi Kelompok Tiang

Dalam proyek konstruksi, tiang *bore pile* biasanya dipasang dalam kelompok untuk menopang beban struktur. Daya dukung total kelompok tiang dihitung dengan persamaan:

Efisiensi kelompok tiang  $E_g$  dapat dihitung menggunakan rumus Converse-Labarre:

## Konsolidasi Tanah

Konsolidasi adalah proses pengurangan volume tanah jenuh air akibat peningkatan tegangan total dan disipasi air pori seiring waktu [6]. Ketika tanah menerima beban, terjadi deformasi yang menyebabkan

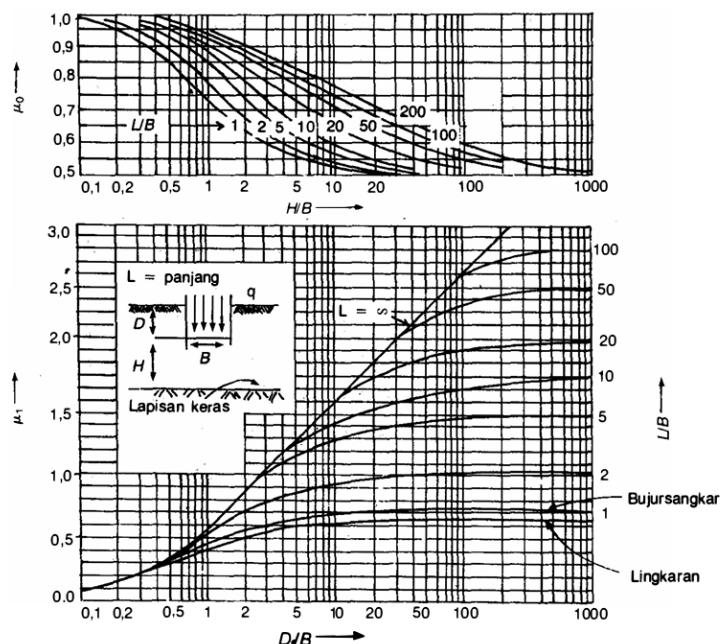
penurunan (*settlement*). Penurunan ini terdiri dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi.

### 1. Penurunan Seketika

Penurunan segera terjadi pada tanah berbutir halus yang kering atau tidak jenuh serta tanah berbutir kasar segera setelah beban diterapkan. Penurunan ini bersifat elastis dan umumnya terjadi pada fondasi di atas tanah berbutir kasar. Untuk menghitung penurunan segera rata-rata pada beban terbagi rata fleksibel yang

merata di bentuk persegi panjang atau lingkaran, digunakan variabel modulus elastisitas ( $E$ ) dan bilangan Poisson ( $\mu = 0,5$ ) adalah:

diagram pada gambar 1 menunjukkan cara mengatasi variasi modulus elastisitas ( $E$ ) tanah dengan kedalaman dengan membagi tanah menjadi beberapa lapisan fiktif, masing-masing dengan nilai  $E$  konstan.



**Gambar 1: Grafik Koefisien  $\mu_1$   $\mu_0$**

Sumber: Hardiyatmo, 1996

## 2. Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi terjadi akibat pengurangan volume tanah jenuh air saat air dalam pori-pori tanah keluar, menyebabkan deformasi vertikal selama proses konsolidasi, penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan persamaan:

### Faktor Aman

Desain fondasi sesuai standar harus memenuhi kriteria penting untuk memastikan stabilitas, kekuatan, dan mengendalikan penurunan. Fondasi dirancang untuk menahan beban aksial (tekan dan tarik), gaya lateral, serta momen guling agar tidak terjadi pergeseran atau penurunan yang berlebihan. Standar ini menerapkan kriteria desain fondasi sebagai berikut:

## 1. Fondasi Dangkal:

Gaya tekan: Rasio daya dukung izin fondasi terhadap gaya tekan akibat reaksi menara harus  $\geq 1,0$ , tanpa tekanan tarik pada tanah.

Gaya tarik (*uplift*): Rasio kapasitas tarik fondasi terhadap gaya tarik akibat reaksi menara harus  $\geq 1,5$ , dan hindari tekanan tarik pada tanah.

Gaya geser: Rasio kapasitas gaya horizontal terhadap gaya horizontal akibat reaksi menara harus  $\geq 1,5$ .

Momen guling: Rasio momen tahanan terhadap momen guling akibat eksentrisitas gaya harus  $\geq 2,0$ .

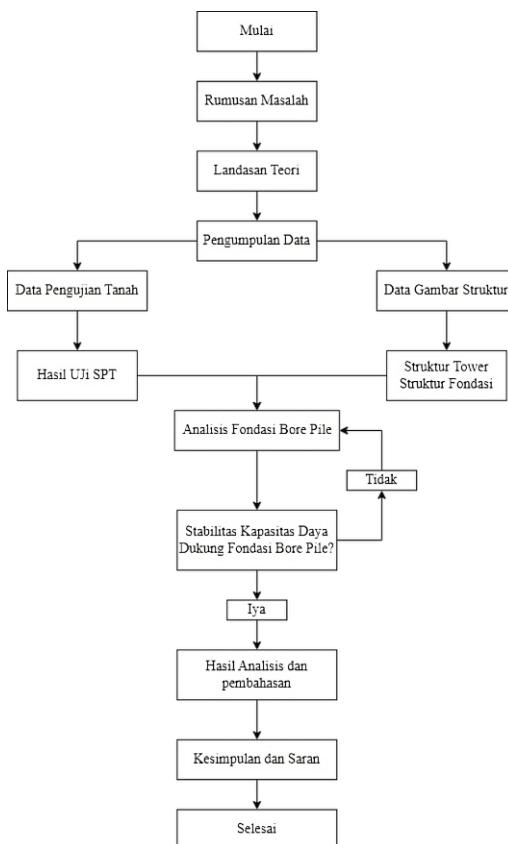
## 2. Fondasi Dalam (*Bore Pile/Tiang Pancang*):

- Tahanan ujung tiang dengan faktor keamanan sebesar 3 (SF1).
- Tahanan gesek tiang dengan faktor keamanan sebesar 5 (SF2).

## METODE

### Bagan Alir

Berikut adalah bagan alir dari penelitian ini:



**Gambar 2: Diagram Alir**

### Pengumpulan Data

Beberapa data yang dipakai dalam menunjang penulisan tugas akhir ini, data yang di dapatkan berasal dari kontraktor dan dari hasil analisis yang telah dilaksanakan. Data yang dimaksud antara lain yaitu:

- Data uji tanah lapangan *standard penetration test* (SPT).
- Data reaksi pembebanan dari struktur tower.
- *Shop drawing* fondasi tower dan struktur atas tower.

### Analisis Stabilitas Fondasi *Bore Pile*

Dalam perhitungan ini untuk mengetahui beberapa indikator, Perhitungan kapasitas daya dukung tanah merupakan bagian indikator tersebut, dalam penelitian ini menggunakan metode Reese & Wright dalam menghitung kapasitas daya dukung selimut tiang, daya dukung ujung tiang, daya dukung *ultimate*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Teknis Material

Beberapa data teknis yang di perlukan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Concrete (K225)

- Kuat tekan ( $f'_c$ )  
 $= 18,68 \text{ Mpa}$

- Berat beton bertulang ( $\gamma_c$ )

$$= 2400 \text{ Kg/m}^3 (\text{For pressure})$$

- Berat satuan beton saat terendam ( $\gamma_{csub}$ )

$$= 1400 \text{ Kg/m}^3 (\text{For uplift})$$

#### 2. Baja Tulangan

- Baja Tulangan U-32 ( $\emptyset > 13 \text{ mm}$ )

$$\text{Tegangan leleh baja (f}_y\text{) } = 390 \text{ Mpa}$$

- Baja Tulangan U-24 ( $\emptyset > 13 \text{ mm}$ )

$$\text{Tegangan leleh baja (f}_y\text{) } = 240 \text{ Mpa}$$

#### 3. Data Tanah

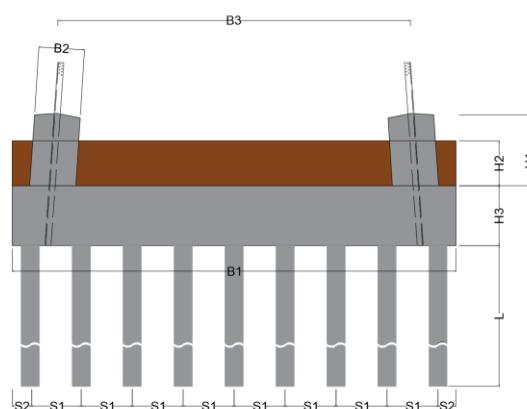
- *Frustum angle* ( $\Phi$ )  $= 0 \text{ deg} = 0 \text{ rad}$

- Berat jenis tanah ( $\gamma_s$ )  $= 1600 \text{ Kg/m}^3$

- Berat jenis tanah saat terendam ( $\gamma_{ssub}$ )

$$= 950 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 1950 \text{ Kg/m}^3$$



**Gambar 3: Sketsa Fondasi**

Sumber: Dokumen Pribadi

### Berat fondasi

Perhitungan berat fondasi adalah sebagai berikut:

- Volume *chimney*  $= 22,5 \text{ m}^3$
- Volume *pile cap*  $= 438,08 \text{ m}^3$
- Volume fondasi ( $V_c$ )  $= 460,58 \text{ m}^3$

#### 1. Berat fondasi untuk *counter uplift*

- Berat fondasi ( $W_f$ )  $= 641,812 \text{ ton}$

- Berat *bore pile*  $= 432,85178 \text{ ton}$

#### 2. Berat fondasi untuk *pressure*

- Berat fondasi ( $W_f$ )  $= 1105,392 \text{ ton}$
- Berat *bore pile*  $= 742,03162 \text{ ton}$

#### 3. Berat tanah timbunan *pilecap*

- Volume tanah ( $V_s$ )  $= 306,06 \text{ m}^3$   
 $(\text{for pressure}) (W_s) = 489,696 \text{ ton}$
- Volume tanah ( $V_s$ )  $= 306,06 \text{ m}^3$   
 $(\text{for uplift}) = 489,696 \text{ ton}$

## Perhitungan Gaya Tekan dan Gaya Tarik

### 1. Perhitungan gaya tekan

Bore pile koordinat;

$$x_1 = 1,7 \text{ m} \quad y_1 = 1,7 \text{ m}$$

$$x_2 = 3,4 \text{ m} \quad y_2 = 3,4 \text{ m}$$

$$x_3 = 5,1 \text{ m} \quad y_3 = 5,1 \text{ m}$$

$$x_4 = 6,8 \text{ m} \quad y_4 = 6,8 \text{ m}$$

Beban dari tower

$$F_x = 38,1 \text{ ton} \quad M_{x1} = 4453,18 \text{ ton.m}$$

$$F_y = 76,663 \text{ ton} \quad M_{y1} = 2837,92 \text{ ton.m}$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= \frac{\Sigma V}{n} + \frac{m_{y1} \cdot Y_{max}}{n \Sigma x^2} + \frac{M_{x1} \cdot X_{max}}{n \Sigma y^2} \\ &= \frac{1966,871}{81} + \frac{2837,92 \times 6,8}{1560,6} + \frac{4453,18 \times 6,8}{1560,6} \\ &= 24,3 + 12,36566 + 19,40383 \\ &= 56,1 \text{ ton} \end{aligned}$$

### 2. Daya dukung ijin gaya tarik

$$\begin{aligned} P_{min} &= \frac{\Sigma V}{n} + \frac{m_{y1} \cdot Y_{max}}{n \Sigma x^2} + \frac{M_{x1} \cdot X_{max}}{n \Sigma y^2} \\ &= \frac{1683,81}{81} + \frac{2837,92 \times 6,8}{1560,6} + \frac{4453,18 \times 6,8}{1560,6} \\ &= 20,78 - 12,36566 - 19,40383 \\ &= 10,98 \text{ ton} \end{aligned}$$

### 3. Perhitungan kapasitas gaya horisontal

$$\begin{aligned} \beta &= \sqrt[4]{\frac{0,5 \times 60}{4 \times 203135,72 \times 636172,51}} \\ &= 0,0027601 \text{ cm}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_a &= \frac{k \times d}{\beta} \times a \\ &= \frac{0,5 \times 60}{0,002760101} \times 1 \\ &= 10869,166 \text{ kg} \\ &= 10,869,166 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{a\text{total}} &= n \times H_a \times E_f \\ &= 81 \times 10,869166 \times 0,61599 \\ &= 542,32732 \text{ ton} \\ &= 5318,4413 \text{ kN} \\ K_{all} &= \frac{5318,4413}{1,5} \\ &= 361,54764 \text{ ton} > 85,57901 \text{ ton} \end{aligned}$$

### Kapasitas Daya Dukung Bore Pile

Kapasitas daya dukung *bore pile* mencakup kapasitas daya dukung ujung tiang, kapasitas daya dukung selimut tiang, dan kapasitas daya dukung *ultimate*, dengan kedalaman *bore pile* 17 m dan diameter 0,6 m, nilai SF1 = 3 untuk daya dukung ujung tiang dan nilai SF2 = 5 untuk daya dukung selimut tiang.

#### 1. Kapasitas Daya Dukung Ujung Tiang

$$Q_u = Q_p/SF1 + Q_s/SF2$$

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p$$

$$A_p = 1/4 \times \phi \times D^2$$

$$= 1/4 \times 3,14 \times 0,36$$

$$= 0,283 \text{ m}^2$$

$$C_u = 2/3 \times N-SPT \times 10$$

$$= 2/3 \times 42,5 \times 10$$

$$= 283,333 \text{ kN}$$

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p$$

$$= 9 \times 283,333 \times 0,283$$

$$= 721,286 \text{ kN}$$

#### 2. Kapasitas Daya Dukung Selimut Tiang Tunggal

$$Q_s = a \times C_u \times P \times L_i$$

$$= 0,55 \times 283,333 \times 1,885714286 \times 1$$

$$= 293,857 \text{ kN}$$

$$Q_{scum} = Q_{sn-1} + Q_{sn}$$

$$Q_{scum} = 3180,571 + 293,857$$

$$= 3474,429 \text{ kN}$$

#### 3. Kapasitas Ultimate Tiang Tunggal

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 721,286 + 3474,429$$

$$= 4195,714 \text{ kN}$$

#### 4. Kapasitas Daya Dukung Ijin

$$Q_{all} = Q_p/SF1 + Q_s/SF2$$

$$= 721,286/3 + 3473,429/5$$

$$= 935,3142857 \text{ kN}$$

Rekapitulasi kapasitas daya dukung tiang tunggal pada setiap lapisan terdapat dalam tabel 3 berikut:

**Tabel 3: Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal**

Depth(Li)		N-SPT	Ap	Cu	p	Qp	Qs	Qcum	Qu
0	2	28	0,283	186,667	1,886	158,400	387,200	387,200	235,840
2	4	5	0,283	33,333	1,886	28,286	69,143	456,343	119,554
4	6	50	0,283	333,333	1,886	282,857	691,429	1147,771	512,411
6	8	12	0,283	80,000	1,886	67,886	165,943	1313,714	330,629
8	10	38	0,283	253,333	1,886	214,971	525,486	1839,200	582,811
10	12	42	0,283	280,000	1,886	237,600	580,800	2420,000	721,600
12	14	10	0,283	66,667	1,886	56,571	138,286	2558,286	568,229
14	16	45	0,283	300,000	1,886	254,571	622,286	3180,571	890,686
16	17	42,5	0,283	283,333	1,886	240,429	293,857	3474,429	935,314
17	18	39	0,283	260,000	1,886	220,629	269,657	3744,086	969,446
18	20	16	0,283	106,667	1,886	90,514	221,257	3965,343	883,583

Sumber: Data Analisis

$$\begin{aligned} Q_u &= 935,314 \text{ kN} \\ &= 95,375 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= 694,886 \text{ kN} \\ &= 70,858 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \operatorname{Arctan} \frac{0,6}{1,7} \\ &= 19,440035 \end{aligned}$$

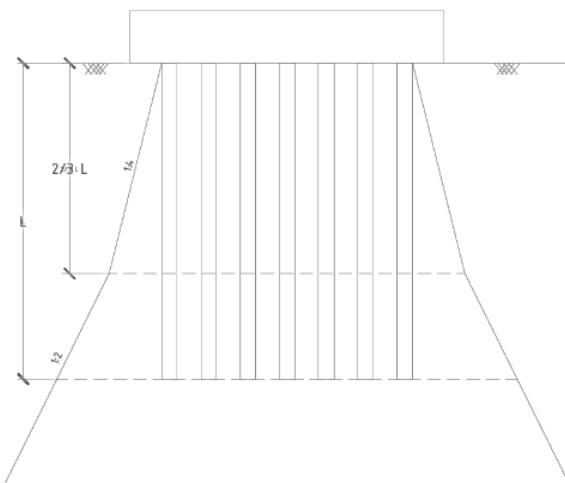
**Perhitungan Efisiensi Group Bore Pile**

Perhitungan efisiensi *group bore pile* pada analisis ini berdasarkan rumus converse-labare:

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

$$\theta = \operatorname{Arctan} \frac{d}{s}$$

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - 19,4 \frac{(9-1)9 + (9-1)9}{90.9.9} \\ &= 1 - 19,4 \times 0,02 \\ &= 0,6159993 \end{aligned}$$

**Perhitungan Settlement****Gambar 4: Sketsa Lapisan Tanah**

Sumber: Dokumen pribadi

Diketahui:

$$P_u : 1968,87 \text{ ton}$$

B	: 14,2	m
L	: 14,2	m
L <sub>pile</sub>	: 13,5	m
2/3 L	: 9	m
1/3 L	: 4,5	m
Tanah keras	: 11	m

$$\begin{aligned}
 L &= 14,2 + (\frac{1}{4} \times 9 \times 2) \\
 &= 18,7 \text{ m} \\
 q_n &= \frac{P_u}{B \times L} \\
 &= \frac{1968,87}{18,7 \times 18,7} \\
 &= 5,6246
 \end{aligned}$$

### 1. Perhitungan Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*)

Pada penurunan seketika menggunakan rumus dari janbu (1956) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S_i &= \frac{\mu_1 \cdot \mu_0 \cdot q_n \cdot B}{E_u} \\
 B &= 14,2 + (\frac{1}{4} \times 9 \times 2) \\
 B &= 18,7 \text{ m}
 \end{aligned}$$

untuk nilai  $\mu_1$  dan  $\mu_0$  didapatkan dari grafik koefisien, diperoleh nilai  $\mu_1 = 0,28$  dan  $\mu_0 = 0,95$  dan nilai  $E_u = 5040 \text{ ton/m}^2$  maka:

$$\begin{aligned}
 S_i &= \frac{0,28 \cdot 0,95 \cdot 5,6246 \cdot 18,7}{5040} \\
 &= 5,5512 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**Tabel 4: Penurunan Seketika**

Depth m	B m	L m	q <sub>n</sub> ton/m <sup>2</sup>	H m	H/B	D/B	$\mu_1$	$\mu_0$	E <sub>u</sub> ton/m <sup>2</sup>	S <sub>i</sub> (mm)
9	18,7	18,7	5,6246	3	0,1604	0,0321	0,28	0,95	5040	5,5512
12	20,2	20,2	4,8203	3	0,1485	0,0297	0,29	0,96	3360	8,0678
15	21,7	21,7	4,1769	1	0,0461	0,0276	0,3	1	4680	5,8102
<b>Total</b>										<b>19,429</b>

Sumber: Data Analisis

### 2. Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi pada penelitian ini menggunakan persamaan:

$$S_c = \Delta_p \cdot m_v \cdot H$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_p &= \frac{1968,87}{19,45 \times 19,45} \\
 &= 4,2749 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

**Tabel 5: Penurunan Konsolidasi**

Depth m	H m	B m	L m	P kN/m <sup>2</sup>	M <sub>v</sub> m <sup>2</sup> /kN	S <sub>c</sub> mm
10,5	1,5	19,45	19,45	4,2749	0,0003	1,9237
12	1,5	20,2	20,2	3,9909	0,0002	1,1973
13,5	1,5	20,95	20,95	3,7343	0,0004	2,2406
<b>Total</b>						<b>5,3615</b>

Sumber: Data Analisis

### 3. Penurunan Total

Penurunan total yang terjadi pada fondasi adalah:

$$\begin{aligned}
 S &= S_i + S_c \\
 &= 19,429 + 5,361 \\
 &= 24,790 \text{ mm} < 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### Perhitungan Tulangan Bore Pile

Perhitungan tulangan bore pile terdapat 2 jenis yaitu perhitungan tulangan longitudinal dan tulangan geser/sengkang.

#### 1. Perhitungan Tulangan Longitudinal bore pile

Sehingga tidak perlu tulangan geser maka dipakai tulangan geser Ø10-150

$$S < d_{eff}/2 = 150 < 220$$

#### Data bore pile:

Diameter : 600 mm

$d_{eff}$  : 450 mm

$f_y$  : 390 Mpa

$f'_c$  : 18,68 Mpa

Panjang bore pile : 13500 m

Jumlah bore pile : 81 pcs

#### Comresion Force

$P_u = 84.077834$  Ton

$$= 824,52609 \text{ kN}$$

#### Eccentricity

$$E_{min} = 15 + (0,03 x h)$$

$$= 33 \text{ mm} = 0,033 \text{ mm}$$

$$M_u = 824,52609 \times 0,0033$$

$$= 27,209361 \text{ kN.m}$$

#### Tension force

$$P_u = 16,41703 \text{ Ton}$$

$$= 160,99689 \text{ kN}$$

Perhitungan selanjutnya menggunakan program PcaCol dengan hasil besi tulangan longitudinal menggunakan 12D19.

#### 2. Perhitungan Tulangan Spiral

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser terfaktor } V_u &= F_r = F_{max} / N_{pile} \\ &= 76,63 / 81 \\ &= 0,945 \text{ ton} \\ &= 9267,28 \text{ N} \end{aligned}$$

$f'_c = 18,68 \text{ Mpa}$

$f_y = 240 \text{ Mpa}$

$\phi = 0,75 \text{ (Strength reduction factor)}$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) \cdot b \cdot d \\ &= 85923.777 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 85923.777$$

$$= 64442,833 < 9267,28 \text{ N}$$

$$V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$$

$$9267,28 < 32221,416$$

## KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perhitungan gaya tekan tower tipe 4EE6+33 slim sebesar 56,05 ton, perhitungan gaya tarik tower tipe 4EE6+33 slim sebesar 11,371 ton, perhitungan kapasitas gaya horizontal tower tipe 4EE6+33 slim 361,547 ton.
2. Hasil perhitungan kapasitas daya dukung tanah pada tower tipe 4EE6+33 slim di kedalaman 17 meter dengan diameter bore pile 60 cm menggunakan metode Reese & Wrihgt (1976) adalah, untuk kapasitas daya dukung ujung tiang ( $Q_p$ ) 240,429 kN/m, kapasitas daya dukung selimut sebesar 3474,429 kN/m = 354,29 ton dengan faktor keamanan 5 dan nilai efisiensi group pile 0,6159993 maka hasilnya 43,648 ton > gaya tarik sebesar 11,371 ton. Sedangkan kapasitas daya dukung allowable dengan faktor keamanannya adalah  $Q_{all}$  935,314 kN/m = 95,375 ton dengan efisiensi group pile 0,6159993 maka hasilnya 58,750 ton > gaya tekan 56,05 ton.
3. Hasil perhitungan penurunan seketika adalah 19,429 mm sedangkan penurunan konsolidasi adalah 5,361 mm sehingga penurunan total adalah 24,790 mm < penurunan izin sebesar 25,000 mm.
4. Hasil perhitungan tulangan longitudinal bore pile adalah menggunakan 12 D19 dan

untuk tulangan sengkang menggunakan Ø10-150.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] F. J. Tasiam, “Proteksi Sistem Tenaga Listrik,” 2017, *Teknosain*.
- [2] L. N. Utari And J. T. M. D. A. N. Kebumian, “Identifikasi Lapisan Keras Pada Kompleks Laboratorium Teknik Dengan Menggunakan Data Vertical Electrical Sounding (Ves) Dan Data Standard Penetration Test (Spt) Di Institut Teknologi Sumatera,” *Lampung Selatan (Id): Institut Teknologi Sumatera*, 2020.
- [3] K. Fadli, “Evaluasi Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Pada Pabrik Kelapa Sawit Labuhan Batu,” 2018.
- [4] F. R. Amalia And Y. Yuwono, “Pelaksanaan Pekerjaan Pondasi Bored Pile Pada Proyek Gedung Lab Utama Proyek Rtct Pertamina,” In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, 2023, Pp. 77–84.
- [5] N. A. Jamil And C. A. Siregar, “Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Bor (Bored Pile) Berdasarkan Data Penetrasi Standar (Spt) Dan Data Sondir (Cpt),” *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (Simteks)*, Vol. 3, No. 2, Pp. 233–248, 2023.
- [6] H. Masvika, A. D. Adi, And F. Faris, “Evaluasi Penurunan Konsolidasi Tanah Di Semarang Utara Berdasarkan Korelasi N-Spt Dengan Mv,” *Rekayasa Sipil*, Vol. 7, No. 1, Pp. 1–12, 2019.