

**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)**

Ayuri Ramadhani

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Sukabumi.
e-mail: auree.ramadhanii@gmail.com

ABSTRAK

Pondasi tower T.05 adalah salah satu tower yang berada di jalur transmisi Section 2 (Tanggung – Purwodadi) SUTT 150 kV Ungaran – Mranggen – Purwodadi area lokasi PT Semen Grobogan yang terkendala akibat kondisi di lapangan, sehingga dilakukan modifikasi dan perubahan desain kelas pondasi dari AA6+0 kelas 3 (normal) menjadi AA6+6 kelas 6 (borepile). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil analisis dimensi pondasi borepile terhadap gaya tekan dan angkat dibandingkan dengan pondasi normal (telapak), hasil perhitungan gaya lateral dan keamanan stabilitas pondasi terhadap gaya geser dan mengetahui hasil perhitungan penulangan efektif pondasi borepile. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif. Dimensi pondasi tower T.05 AA6+6 kelas 6 borepile diameter 40 cm pada kedalaman 8 meter aman terhadap gaya tekan didapat daya dukung ijin tiang kelompok PGtk = 1.461,080 KN > Pu = 1.053,643 KN dan aman terhadap gaya angkat di dapat daya dukung ijin aksial tarik Ta = 454,98 KN > T = 451,594 KN. Dibandingkan dengan dimensi pondasi kelas 3 tidak dapat digunakan karena keterbatasan lahan. Hasil perhitungan gaya lateral didapat gaya lateral ultimit (Hu) = 26,14 KN dan keamanan stabilitas pondasi T.05 AA6+6 aman terhadap gaya geser. Perhitungan penulangan yang efektif pada pondasi T.05 AA+6 tulangan borepile dipakai 8 D 16 mm dan tulangan spiral dipakai Ø10-200 mm. Penulangan pad pondasi dipakai diameter 30 D 16 – 200 mm. Penulangan untuk kolom pedestal dipakai tulangan 12 D 16 mm dan tulangan sengkang kolom pedestal 12 Ø10 - 250 mm.

Kata kunci: Mdifikasi, Borepile, Dimensi, Stabilitas, Penulangan Struktur.

**ANALYSIS MODIFICATION OF FOUNDATION TOWER PLAN AA6+0 NORMAL TYPE CLASS 3
TO AA6+6 CLASS 6 BOREPILE TYPE**

(Case Study: Location Area T.05 PT Semen Grobogan SUTT Ungaran – Mranggen – Purwodadi)

ABSTRACT

The foundation of tower T.05 is one of the towers located in the Section 2 (Tanggung – Purwodadi) transmission line SUTT 150 kV Ungaran – Mranggen – Purwodadi in the PT Semen Grobogan location area which was constrained due to conditions in the field, so modifications and design changes were made foundation class from AA6+0 class 3 (normal) to AA6+6 class 6 (borepile). The purpose of this study was to determine the results of the analysis of the dimensions of the borepile foundation against the compressive and lifting forces compared to the normal foundation (footplat), the results of the calculation of the lateral forces and the safety of the foundation stability against the shear force and to know the results of the calculation of the effective reinforcement of the borepile foundation. This study uses descriptive quantitative methods. The dimensions of the tower foundation T.05 AA6+6 class 6 borepile with a diameter of 40 cm at a depth of 8 meters safe against compress forces obtained the carrying capacity of the pile group permit PGtk = 1,461,080 KN > Pu = 1,053,643 KN and safe against forces uplift can be obtained carrying capacity of axial tensile permit Ta=454.98 KN > T = 451.594 KN. Compared to the dimensions of the foundation class 3 it cannot be used due to limited land. The results of the calculation of the lateral force obtained the ultimate lateral force (Hu) = 26.14 KN and of the stability of the foundation stability T.05 AA6+6 safe against shear forces. Calculation of effective reinforcement on the foundation T.05 AA+6 borepile used 8 D 16 mm and spiral used Ø10-200 mm. Reinforcement pad foundation used diameter 30 D 16-200 mm. Reinforcement for the pedestal column used 12 D 16 mm and hoop for the pedestal column 12 10 - 250 mm.

Keywords: Modification, Borepile, Dimensions, Stabilitas, Structural Reinforcement.

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

PT PLN (Persero) selaku pemasok utama di Indonesia meningkatkan jaringan listrik selaku wujud pengembangan sistem kelistrikan di Indonesia. Kebutuhan listrik yang bertambah menimbulkan perlunya akumulasi kapasitas listrik. PT PLN (Persero) sudah merancang jalur- jalur transmisi overhead line baru di bermacam wilayah di Indonesia salah satunya adalah jalur transmisi SUTT 150 kV Ungaran - Mranggen - Purwodadi yang dilaksanakan oleh kontraktor KSO PT Dalima Putra Perdana - PT Kembar Abadi - PT Sangkan Jaya. Pembangunan pekerjaan ini terdiri dari 2 (dua) section. Section pertama adalah section Ungaran - Tanggung sebanyak 85 tower terdiri dari T.01 - T.79 jalur Kabupaten Semarang sampai Kabupaten Grobogan dan section kedua adalah section Tanggung - Purwodadi sebanyak 103 tower terdiri dari T. 01 - 101 jalur Kabupaten Grobogan Jawa Tengah.

Pada pembangunan transmisi salah satu struktur utama yang berperan penting dalam menopang beban struktur tower adalah struktur pondasi. Menurut data yang di peroleh dari kontraktor pelaksana KSO PT Dalima Putra Perdana - PT Kembar Abadi - PT Sangkan Jaya, T.05 adalah tipe tower AA (suspention) dengan sudut 0-3° seri 6 yang memiliki kaki tower 0 meter atau disingkat AA6+0 adalah salah satu tower yang berada di jalur transmisi Section 2 (Tanggung - Purwodadi) SUTT 150 kV Ungaran - Mranggen - Purwodadi area lokasi PT Semen Grobogan terkendala akibat kondisi di lapangan. Beberapa permasalahan tersebut antara lain membangun pondasi di lahan tower existing, ketersediaan dan keterbatasan lahan yang berada di area lokasi PT Semen Grobogan yang berukuran 12m x12m, dan perubahan ketinggian tower dari 0 m ke +6 m. Sehingga, solusi yang dapat diambil untuk memecahkan berbagai permasalahan diatas adalah dilakukan modifikasi dan perubahan desain kelas pondasi.

Spesifikasi desain pondasi tower terdiri dari beberapa kelas dan tipe pondasi sesuai standar peraturan PT PLN (Persero). Tipe pondasi yaitu kelas pondasi tipe normal (kelas 1, 2, 3, 4 dan 7) dan tipe borepile (kelas 6). Kelas dan tipe pondasi ini akan di ambil dari hasil pengujian tanah dilapangan dan dicantumkan ke dalam data *Pondasi Schedule*.

Perencanaan pondasi tower tergantung pada jenis tower dan seri yang nantinya hendak mempegaruhi beban pada tiap- tiap pondasi. Tipe tower terdiri dari tipe AA, BB, CC, DD, EE, dan FF serta seri tower terdiri dari 2, 4, dan 6. Selanjutnya berat dari tower, kabel dan assesories akan masuk kedalam beban vertikal pondasi. Disamping itu beban tower juga terdiri dari beban angin, beban tarik, beban horizontal transversal dan horizontal longitudinal yang dihasilkan oleh putusnya kabel konduktor. Dua asumsi beban kerja akan diperhitungkan untuk setiap tipe tower yaitu kondisi beban kerja normal dan kondisi beban kerja pada saat kawat putus.

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan diatas, penulis dapat merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Apakah dimensi pondasi tower T.05 AA6+6 kelas 6 tipe borepile sudah memadai atau tidak terhadap gaya tekan (compress) dan gaya angkat (uplift) yang bekerja dibandingkan AA6+0 kelas 3 tipe normal sesuai Standar PLN T5.008: 2015?
2. Bagaimana hasil perhitungan gaya lateral dan keamanan stabilitas struktur pondasi tower T.05 AA6+6 kelas 6 tipe borepile terhadap gaya geser pada pondasi tower tersebut?
3. Bagaimana hasil analisis perhitungan penulangan yang efektif pada pondasi tower T.05 AA6+6 kelas 6 tipe borepile sesuai SNI 2847:2013?

3. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penyusunan penelitian ini adalah untuk mendapatkan desain modifikasi pondasi yang sesuai dengan peraturan

Standar PLN yang berlaku dan memberikan solusi alternatif terhadap keamanan stabilitas pondasi meskipun sudah dilakukan redesain yang berbeda.

Adapun tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui hasil analisis dimensi pondasi tower T.05 AA6+6 kelas 6 tipe borepile sudah memadai atau tidak terhadap gaya tekan (compress) dan gaya angkat (uplift) yang bekerja dibandingkan AA6+0 kelas 3 tipe normal sesuai standar PLN T5.008:2015
2. Mengetahui hasil perhitungan gaya lateral dan keamanan stabilitas struktur pondasi tower T.05 AA6+6 kelas 6 tipe borepile terhadap gaya geser pada pondasi tower tersebut
3. Mengetahui hasil analisis perhitungan penulangan yang efektif pada pondasi tower T.05 AA6+6 kelas 6 tipe borepile sesuai SNI 2847:2013.

4. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah pada area T.05 PT Semen Grobogan yang beralamat di Kelurahan Kaliwenang, Kecamatan Tanggungharjo, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

(Sumber: Maps Section II Tanggung - Purwodadi, Googleearth, 2021)

TINJAUAN PUSTAKA

1. Pembebanan Tower

Beban yang bekerja pada saat menara dalam keadaan normal yaitu beban vertikal dan beban horizontal. Beban vertical yang bekerja pada struktur tower terdiri dari:

- a. Beban Mati (DL) dan Superimpose Dead Load (SDL)

Beban mati adalah beban yang berasal dari seluruh berat sendiri konstruksi yang bersifat tetap. *Superimpose dead load* adalah beban mati tambahan. Beban tambahan tersebut dapat berupa beban tambahan pada tower seperti kabel, insulator, fitting dan konduktor.

- b. Beban Hidup (LL)

Beban hidup yang bekerja pada struktur tower AA6+6 ini di design dari beban pekerja dan perlengkapan yaitu 120 kg.

- c. Beban Angin (W)

Beban Angin yang bekerja pada tower AA6+6 harus memenuhi Standar PLN T.004.2010 tentang Kriteria Desain Tower Rangka baja untuk SUTT dan SUTET

- d. Beban Tarik

Beban Tarik dihasilkan oleh kabel konduktor dan earthwire

- e. Beban Putus Kabel

Beban putus kabel adalah yang dihasilkan oleh putusnya kabel konduktor sehingga menimbulkan beban horizontal.

Dua asumsi beban kerja (Working Load) akan diperhitungkan untuk setiap tipe tower, antara lain:

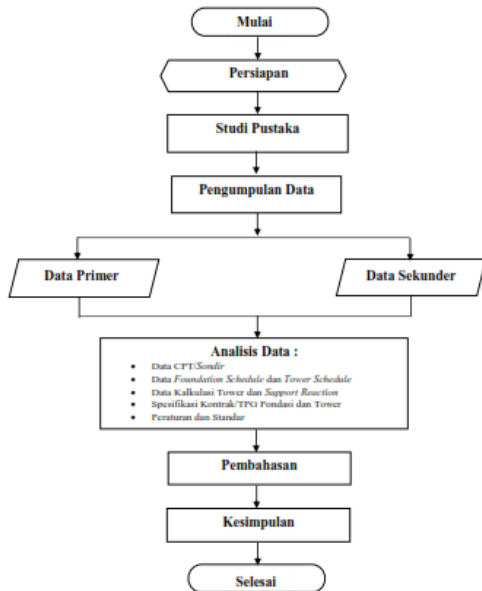
- 1) Beban Kerja Normal (Normal Working Loads)
- 2) Beban Kerja Pada Kondisi Kawat Putus (Working Loads at Broken Wire Condition).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif seperti dua pendapat yang telah dikemukakan bahwa metode ini digunakan peneliti untuk menganalisis data yang didapat dari lapangan dan diolah

sehingga memperoleh hasil serta dibuat menjadi kesimpulan.

1. Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Support Reaction Tower

Kombinasi yang dipakai dalam desain tower AA6+6 ini ada 2 kombinasi yang ditetapkan berdasarkan standar SPLN T.004: 2010 adalah sebagai berikut:

- Kombinasi 1 : Load = DL +LL +WL 0°
- Kombinasi 2 : Load = DL +LL +WL 90°

Kombinasi tersebut diperhitungkan sesuai dua asumsi beban kerja (Working Load) dengan faktor keamanan tidak boleh kurang dari 1,50 terhadap kondisi beban normal dan 1,1 terhadap kondisi broken Wire.

Berdasarkan hasil perhitungannya kombinasi pembebanan tower, diambil load case yang sudah dilakukan pengecekan hasil output aplikasi MS Tower V.20.1.11 berupa data *Support Reaction Tower*. Dari *Summary Report Support Reaction Tower* beban kombinasi yang dapat digunakan pada kondisi beban kerja yaitu:

- Load Case 417 Kondisi Normal
= 1,5 DL+ 1,5 LL+ 1,5 WL 0°

- Load Case 415 Kondisi Kawat Putus

DESCRIPTION	BROKEN WIRE CONDITION		
	(kN)		
		Compression	Tension
Axial Compress	P	566,937	
Axial Uplift	T		451,594
Transversal Shear	Fy	64,125	28,292
Longitudinal Shear	Fx	40,636	54,081

$$= 1,5 DL+ 1,5 LL+ 1,1 WL 90^\circ$$

Adapun hasil data tersebut antara lain sebagai berikut:

Tabel 1. Summary Report Support Support Reaction T.05

Sumber: *Support Reaction MS Tower V.20.1.11*

2. Analisis Kalkulasi Pondasi Tipe Normal

Dalam perencanaan pondasi tower T.05 yang berada di area lokasi PT Semen Grobogan section 2 Tanggung – Purwodadi ini, terdapat beberapa permasalahan yang menjadi kendala pada desain. Beberapa permasalahan tersebut antara lain sebagai berikut:

- 1) Membangun pondasi di lahan tower existing dengan dimensi sekitar 2 meter dari kolom pedestal dan kedalaman 1,8 meter
- 2) Ketersediaan dan keterbatasan lahan yang berada di area lokasi PT Semen Grobogan dengan ukuran 12 m x12 m
- 3) Perubahan ketinggian tower dari 0 m ke +6 m.

Berdasarkan gambar tower dari pabrikan diketahui perletakan posisi stub (stub positioning setting) untuk tower type AA6+6 adalah:

- XA = 7.000,01 mm posisi atas pada stub
- XB = 8.021,31 mm posisi bawah pada stub

a. Perhitungan Dimensi Pondasi B=3,6 m

Menurut data diatas direncanakan dimensi pondasi telapak lebar B = 3,6 dengan jarak spasi dari ujung tepi ke sisa lahan maksimum ± 200 mm. Adapun analisis perhitungan antara lain sebagai berikut:

1) Parameter Tanah

Kelas/ Golongan Tanah = 3
(NORMAL)

Kepadatan Tanah $\gamma_s = 1600 \text{ kg/m}^3$

Design uplift frustrum angle $\alpha = 10^\circ$

Tabel 2. Rata-rata nilai konus (qc) 0,5 m dibawah level tanah ke bawah Pad dan 1 m dibawah Pad

Kedalaman (m)	Hambatan Konus (qc) (Kg / cm ²)
0,6	5
0,8	10
1,0	10
1,2	10
1,4	10
1,6	10
1,8	12
2,0	10
2,2	10
2,4	15
2,6	15
2,8	15
3,0	20
3,2	24
3,4	20
3,6	24
3,8	28
4,0	30
Rata-rata qc	15

Sumber: Analisis Perhitungan Penulis, 2021

Berdasarkan SPLN T.05.008:2015 hlm 25

Kapasitas Tanah (Bearing)

$$q_a = (1/20)q_c + \gamma D/3$$

$$= (1/20).15 + 1600 \times 3/3$$

$$= 0,932 \text{ kg/cm}^2 = 93,22 \text{ KN/m}^2$$

2) Spesifikasi Material

Mutu beton K225 $f'_c = 18,675 \text{ MPa}$

Kepadatan Beton $\gamma_b = 24 \text{ KN/m}^3$

Baja tulangan

- U39 $f_y = 320 \text{ MPa}$

- U24 $f_y = 240 \text{ MPa}$

3) Dimensi Pondasi

Kedalaman Pondasi A = 3 m

Panjang Pondasi B = 3,8 m

Lebar Pondasi C = 3,8 m

Total Tinggi Pondasi D = 3,5 m

Tinggi Pad a1 = 0,5 m

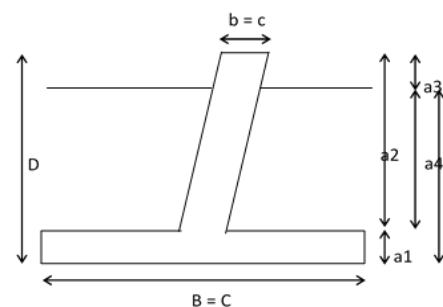
Tinggi Kolom Pedestal a2 = 3 m

Tinggi KP diatas muka tanah a3 = 0,5 m

Tinggi KP dibawah muka tanah a4 = 2,5 m

Panjang Kolom Pedestal b = 0,45 m

Lebar Kolom Pedestal c = 0,45 m



Gambar 3. Notasi Pondasi Normal B = 3,6 m

$$\text{Volume Pondasi } V_c = V_p + V_{ch}$$

$$= 6,48 + 0,61 = 7,09 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat Pondasi } W_f = W_p + W_{ch}$$

$$= 155,52 + 14,58 = 170,10 \text{ KN}$$

$$\text{Berat Tanah } W_s = (V_s - (b \times c \times a_4)) \times \gamma_s$$

$$= (41,306 - (0,45 \times 0,45 \times 2,5)) \times 16$$

$$= 652,80 \text{ KN}$$

Tegangan Tanah di dasar Pondasi:

$$\text{Beban Maksimum Pult} = P + W_f$$

$$= 566,937 + 170,10 = 737,04 \text{ KN}$$

$$\text{Luas Pondasi } F_A = 3,6 \times 3,6 = 12,96 \text{ m}^2$$

$$\text{Sudut kemiringan tower} = 82,01^\circ$$

$$M_x = -54,08 \text{ KNm}$$

$$M_y = 136,229 \text{ KNm}$$

$$W_x = 1/6 \cdot B \cdot C^2 = 7,78 \text{ m}^3$$

$$W_y = 1/6 \cdot B^2 \cdot C = 7,78 \text{ m}^3$$

$$\sigma = \frac{P_{ult}}{F_A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y}$$

$$\sigma_1 = 67,44 \text{ KN/m}^2 \quad (+, +)$$

$$\sigma_2 = 46,30 \text{ KN/m}^2 \quad (-, -)$$

$$\sigma_3 = 32,39 \text{ KN/m}^2 \quad (+, -)$$

$$\sigma_4 = 81,35 \text{ KN/m}^2 \quad (-, +)$$

$$\sigma_{\max} = \text{Maks} (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4) = 81,35 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{\min} = \text{Min}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4) = 32,29 \text{ KN/m}^2$$

4) Kontrol terhadap Gaya Tekan

$$q_a = 93,22 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{\max} = 81,35 \text{ KN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Daya dukung ijin } Q_{\text{all}} &= q_a \times FA \\ &= 93,22 \times 12,96 \\ &= 1.208,16 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\text{Beban Rencana Pult} = Q_r = 737,04 \text{ KN}$$

Syarat

$$q_a > \sigma$$

$$93,22 \text{ kN/m}^2 > 81,34 \text{ KN/m}^2 \dots \text{Aman}$$

$$Q_{\text{all}} > Q_r$$

$$1.208,16 \text{ KN} > 737,04 \text{ KN} \dots \text{Aman}$$

5) Kontrol terhadap Gaya Angkat

Berdasarkan SPLN.T.05.008:2015 hal. 26

Daya dukung ultimit aksial tarik

$$\begin{aligned} T_u &= W_f + W_s \\ &= 170,10 + 652,80 = 822,90 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\text{Gaya Angkat } T = 451,59 \text{ KN}$$

Daya Dukung ijin aksial tekan

$$\begin{aligned} T_a &= T_u / SF \\ &= 822,90 / 2 = 411,45 \text{ KN} \end{aligned}$$

Syarat : $T_a > T$

$$411,45 < 451,59 \text{ KN} \dots \text{Tidak Aman}$$

$$T_u / T > SF$$

$$1,82 < 2 \dots \text{Tidak Aman}$$

b. Perhitungan Dimensi Pondasi B = 3,8 m

Pada perhitungan dimensi pondasi diatas tidak memenuhi standar. Maka dicoba dimensi pondasi telapak B = 3,8m yang lebih besar dari B = 3,6 m. Adapun analisis perhitungan antara lain sebagai berikut:

1) Parameter Tanah

Kelas/ Golongan Tanah = 3 (NORMAL)

Kepadatan Tanah $\gamma_s = 1600 \text{ kg/m}^3$

Design uplift frustrum angle $\alpha = 10^\circ$

Kapasitas Tanah (Bearing)

$$\begin{aligned} q_a &= (1/20)q_c + \gamma D/3 \\ &= (1/20).15 + 1600 \cdot 3/3 \\ &= 0,932 \text{ kg/cm}^2 = 93,22 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

2) Spesifikasi Material

Mutu beton K225 f'c = 18,675 MPa

Kepadatan Beton $\gamma_b = 24 \text{ KN/m}^3$

- U39 fy = 320 MPa

- U24 fy = 240 MPa

3) Dimensi Pondasi

Kedalaman Pondasi A = 3 m

Panjang Pondasi B = 3,8 m

Lebar Pondasi C = 3,8 m

Total Tinggi Pondasi D = 3,5 m

Tinggi Pad a1 = 0,5 m

Tinggi Kolom Pedestal a2 = 3 m

Tinggi KP di atas muka tanah a3 = 0,5 m

Tinggi KP di bawah muka tanah a4 = 2,5 m

Panjang Kolom Pedestal b = 0,45 m

Lebar Kolom Pedestal c = 0,45 m

$$\begin{aligned} \text{Volume Pondasi } V_c &= V_p + V_{ch} \\ &= 7,22 + 0,61 = 7,83 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pondasi } W_f &= W_p + W_{ch} \\ &= 173,28 + 14,58 = 187,8 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Tanah } W_s &= (V_s - (b \times c \times a_4)) \times \gamma_s \\ &= (45,447 - (0,45 \cdot 0,45 \cdot 2,5)) \times 16 \\ &= 719,05 \text{ KN} \end{aligned}$$

Tegangan Tanah yang terjadi :

$$\begin{aligned} \text{Beban Maksimum Pult} &= P + W_f \\ &= 566,937 + 187,8 = 754,80 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Pondasi } FA &= B \times C \\ &= 3,8 \times 3,8 = 14,44 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sudut kemiringan tower = 82,01°

$$M_x = -54,08 \text{ KNm}$$

$$M_y = 136,229 \text{ KNm}$$

$$W_x = 1/6 \cdot B \cdot C^2 = 9,15 \text{ m}^3$$

$$W_y = 1/6 \cdot B^2 \cdot C = 9,15 \text{ m}^3$$

$$\sigma = \frac{P_{\text{ult}}}{FA} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y}$$

$$\sigma_1 = 61,29 \text{ KN/m}^2 \quad (+, +)$$

$$\sigma_2 = 43,28 \text{ KN/m}^2 \quad (-, -)$$

$$\sigma_3 = 31,45 \text{ KN/m}^2 \quad (+, -)$$

$$\sigma_4 = 73,09 \text{ KN/m}^2 \quad (-, +)$$

$$\sigma_{\max} = \text{Maks}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4) = 73,09 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{\min} = \text{Min}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4) = 31,45 \text{ KN/m}^2$$

Kontrol terhadap Gaya Tekan

$$q_a = 93,22 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{\max} = 73,09 \text{ KN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Daya Dukung ijin } Q_{\text{all}} &= q_a \times FA \\ &= 93,22 \times 14,44 \\ &= 1.346,13 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\text{Beban Rencana Pult} = Q_r = 737,04 \text{ KN}$$

Syarat $q_a > \sigma$

$$93,22 \text{ kN/m}^2 > 73,09 \text{ KN/m}^2 \dots \text{Aman}$$

$$Q_{\text{all}} > Q_r$$

$$1.346,13 \text{ KN} > 737,04 \text{ KN} \dots \text{Aman}$$

4) Kontrol Terhadap Gaya Angkat (Uplift)

Berdasarkan SPLN.T.05.008:2015 hal. 26

Daya dukung ultimit aksial tarik

$$Tu = Wf + Ws = 187,86 + 719,05 = 906,91 \text{ KN}$$

Gaya Angkat T = 451,59 KN

Daya dukung ijin aksial tarik

$$Ta = Tu/SF = 906,91/2 = 453,46 \text{ KN}$$

Syarat Ta > T

$$453,46 > 451,59 \text{ kN} \quad \dots\dots\text{Aman}$$

Tu/T > SF

$$906,91/451,59 > 2 \quad 2,01 > 2 \quad \dots\dots\text{Aman}$$

5) Kontrol Terhadap Gaya Geser

Koefisien Geseka $\mu_s = 0,350$

Gaya yang bekerja arah vertical

$$\Sigma V = P + Wf + Ws = 566,94 + 187,86 + 719,05 = 1.473,9 \text{ KN}$$

Gaya yang bekerja arah horizontal

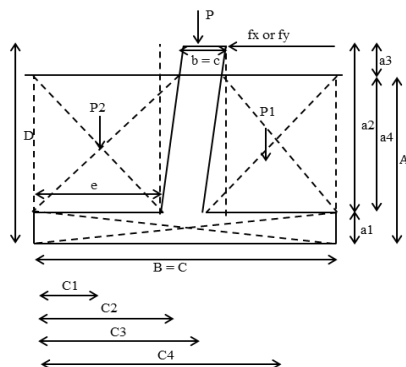
$$\Sigma H = \text{Max} (Fx \text{ or } Fy) = 64,13 \text{ KN}$$

$$Fs = \frac{\Sigma V \cdot f}{\Sigma H} = \frac{1.473,9 \times 0,350}{64,13} = 8,044$$

Syarat Fs > SF

$$8,044 > 1,5 \quad \dots\dots\text{Aman}$$

6) Kontrol terhadap Gaya Guling Akibat Tekan



Gambar 4. Reaksi Gaya Guling Akibat Tekan

$$\Sigma Mp = M1 + M2 + M3 + M4 = 932,78 + 356,93 + 263,70 + 1.379,57 = 2.932,98 \text{ KNm}$$

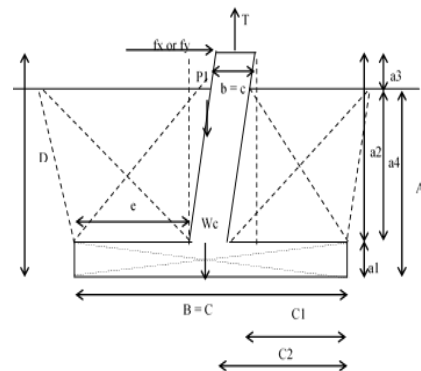
$$\Sigma Mg = \text{Max} (fx \text{ or } fy) \times D = 64,13 \times 3,5 = 224,437 \text{ kNm}$$

$$Fsg = \Sigma Mg / \Sigma Mp = (2.932,98 + 224,437) / 224,437 = 14,07$$

Kontrol Fsg > SF

$$14,07 > 2 \quad \dots\dots\text{Aman}$$

7) Kontrol terhadap Gaya Guling Akibat Tarik



Gambar 5. Reaksi Gaya Guling Akibat Tarik

$$\Sigma Mp = M1 + M2 = 1.366,20 + 356,93 = 1.723,14 \text{ KNm}$$

$$\Sigma Mg = \text{Max} (fx \text{ or } fy) \times D + M4 = 54,081 \times 3,5 + 636,17 = 825,458 \text{ KNm}$$

$$Fsg = \Sigma Mg / \Sigma Mp = 1.723,14 / 825,458 = 2,09$$

Kontrol Fsg > SF

$$2,09 > 2 \quad \dots\dots\text{Aman}$$

Berdasarkan perhitungan pondasi tipe kelas 3 normal (telapak) diatas, dimensi pondasi kelas 3 tipe normal dimensi 3,8 m x 3,8 m Aman tetapi tidak dapat digunakan karena luas lahan 12 x 12 m.

3. Analisis Kalkulasi Pondasi Tipe Borepile

a. Data Teknis

1) Parameter Tanah

Kelas/Golongan Tanah = 6 Borepile

Kepadatan Tanah $\gamma_s = 16 \text{ KN/m}^3$

Design uplift frustrum angle = 0°

2) Spesifikasi Material

Mutu beton K225 f_c' = 18,675 MPa
Kepadatan Beton = 24 KN/m³
Baja tulangan
- U39 f_y = 320 MPa
- U24 f_y = 240 MPa

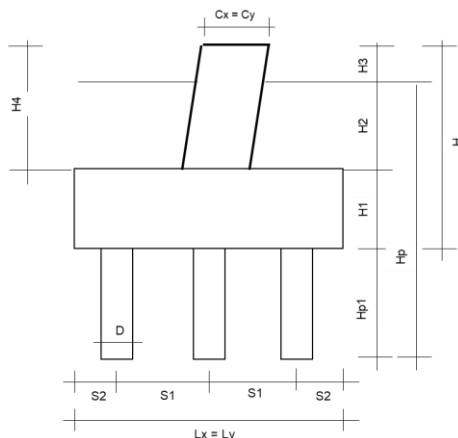
3) Dimensi Pondasi

Total Tinggi Pondaasi H = 1,80 m
Tinggi Pad H1= 0,50 m
Tinggi KP dibawah muka tanah H2= 0,80 m
Tinggi KP diatas muka tanah H3= 0,50 m
Tinggi Kolom Pedestal H4 = 1,30 m
Panjang Pondasi Lx = 3,60 m
Lebar Pondasi Ly = 3,60
Panjang Kolom Pedestal Cx = 0,45 m
Lebar Kolom Pedestal Cy = 0,45 m
Diameter Borepille D = 0,40 m
Jarak Antar Pile S1 = 1,20 m
Jarak pile ke tepi pad S2 = 0,60 m
Tinggi Pile Efektif Hp = 8 m
Tinggi Pile Efektif Hp1 = 6,70 m
Jumlah Pile direncanakan np = 8

Tabel 3. Nilai konus Rata-rata (qc) H = 10 meter

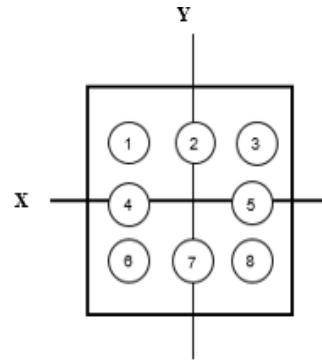
Kedalaman (m)	Nilai Rata-rata qc (Kg/cm ²)			TF (Kg/cm)
	Rata-rata qc 8D	Rata-rata qc 4D	qc(ave)	
1	6,00	7,50	6,75	44
2	8,20	17,00	12,60	96
3	9,80	26,22	18,01	158
4	15,19	28,22	21,70	250
5	21,31	28,78	25,05	338
6	25,81	32,44	29,13	402
7	29,19	32,78	30,98	470
8	30,56	36,67	33,61	556
Σ=	10 data		177,84	32.314

Sumber: Analisis Perhitungan Penulis, 2021



Gambar 6 Notasi Pondasi Borepile Hp = 8 m

Adapun gambar sketsa pile pondasi dan tabel koordinat pile grup sebagai berikut :



Gambar 7. Sketsa Pile Pondasi Borepile

Tabel 4. Koordinat Pile Group

PILE KOORDINAT	X (m)	Y (m)	X ² (m ²)	Y ² (m ²)
1	-1,20	1,20	1,44	1,44
2	0,00	1,20	0,00	1,44
3	1,20	1,20	1,44	1,44
4	-1,20	0,00	1,44	0,00
5	1,20	0,00	1,44	0,00
6	-1,20	-1,20	1,44	1,44
7	0,00	-1,20	0,00	1,44
8	1,20	-1,20	1,44	1,44
ΣX ² or ΣY ²			8,64	8,64

Sumber: Analisis Perhitungan Penulis, 2021

b. Analisis Mekanika Tanah

1) Daya Dukung Ijin Tekan Tiang

Berdasarkan data sondir (Guy Sangrelat)

$$P_{tk} = \frac{q_c \times A_p}{FK 1} + \frac{T_f \times A_{st}}{FK 2}$$

dengan:

P_{tk} = daya dukung ijin tekan pile tunggal

$$q_c = 3.361,46 \text{ KN/m}^2$$

$$T_f = 540 \text{ KN/m}$$

$$A_p = \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,4^2\right) = 0,126 \text{ m}^2$$

$$A_{st} = \left(2 \cdot 3,14 \cdot \left(\frac{0,4}{2}\right)\right) = 1,256 \text{ m}$$

$$FK 1 = 3$$

$$FK 2 = 5$$

$$P_{tk} = \frac{Q_c \times A_p}{FK 1} + \frac{T_f \times A_{st}}{FK 2}$$

$$P_{tk} = \frac{43.361,46 \times 0,126}{3} + \frac{540 \times 1,256}{5}$$

$$P_{tk} = \frac{422,20}{3} + \frac{678,2}{5} = 276,381 \text{ KN}$$

2) Efisiensi Kelompok Tiang

Berdasarkan rumus Converse-Labbare dari Uniform Building AASHTO adalah:

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

dengan:

$$\theta = \arctan(D/S1) = 18,435^\circ$$

$$D = 0,40 \text{ m}$$

$$S1 = 1,20 \text{ m}$$

$$m = \text{jumlah tiang arah horizontal} = 3$$

$$n = \text{jumlah tiang arah verikal} = 3$$

$$np = \text{jumlah pile} = 8$$

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

$$= 1 - 18,435 \frac{(3-1)3 + (3-1)3}{90 \cdot 3 \cdot 3}$$

$$= 1 - 18,435 \frac{12}{810} = 0,727$$

$$P_{stk} = P_{tk} = 276,38 \text{ KN}$$

P maks ijin grup tiang tekan (90% dari np)

$$P_{Gtk} = P_{stk} \times np \times E_g$$

$$= (276,38 \times 8 \times 0,727) - 10\%$$

$$= 1.461,080 \text{ KN}$$

Dikarenakan adanya ketidaksesuaian dalam penggunaan jumlah pile yang tidak simetris, maka P maks ijin group tiang tekan dikurangi 10%.

3) Perhitungan Gaya Tekan

$$\text{Berat Pondasi } W_f = V_t \times \gamma_b$$

$$= 13,48 \times 24 = 323,41 \text{ KN}$$

$$\text{Berat Tanah } W_s = V_s \times \gamma_s$$

$$= 10,21 \times 16 = 163,30 \text{ KN}$$

dimana:

$$\text{Sudut kemiringan pondasi} = 82,01^\circ$$

$$P_{maks} = \frac{P_u}{np} \pm \frac{M_x \times Y_{max}}{\Sigma Y^2} \pm \frac{M_y \times X_{max}}{\Sigma X^2}$$

$$\Sigma P_v = F_c + W_f + W_s$$

$$= 566,937 + 323,41 + 163,30$$

$$= 1.053,643 \text{ KN}$$

$$M_x = 11,98 \text{ KNm}$$

$$M_y = 30,31 \text{ KNm}$$

$$\text{Jumlah kuadrat absis tiang} \quad \Sigma X^2 = 8,64 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah kuadrat absis tiang} \quad \Sigma Y^2 = 8,64 \text{ m}^2$$

$$\text{Absis terjauh tiang} \quad X_{maks} = 1,20 \text{ m}$$

$$\text{Absis terjauh tiang} \quad Y_{maks} = 1,20 \text{ m}$$

Beban maksimum tiang

$$\sigma = \frac{\Sigma P_v}{np} + \frac{M_x \cdot Y_{max}}{\Sigma Y^2} + \frac{M_y \cdot X_{max}}{\Sigma X^2}$$

$$\sigma_1 = 137,578 \text{ KN} \quad (+, +)$$

$$\sigma_2 = 125,833 \text{ KN} \quad (-, -)$$

$$\sigma_3 = 129,160 \text{ KN} \quad (+, -)$$

$$\sigma_4 = 134,251 \text{ KN} \quad (-, +)$$

$$\sigma_{maks} = 137,578 \text{ KN}$$

$$\sigma_{min} = 125,833 \text{ KN}$$

$$\sigma_{maks} < P_{singlek}$$

$$137,578 < 276,38 \text{ KN} \quad \dots \text{Aman}$$

Kontrol group Tekan $P_{Gtk} = 1.053,643 \text{ KN}$

$$P_{Gtk} / \Sigma P_v > SF$$

$$1.461,080 / 1.053,643 > 1$$

$$1,39 > 1 \quad \dots \text{Aman}$$

4) Daya Dukung Ijin Tarik Tiang

Berdasarkan data sondir (Guy Sangrelat)

$$P_{ta} = \frac{T_f \times A_{st} \times 0,7}{FK 2} + W_p$$

dengan:

$$P_{ta} = \text{daya dukung ijin tarik pile tunggal}$$

$$T_f = 540 \text{ KN/m}$$

$$C_p = 1,256 \text{ m}$$

$$FK2 = 5$$

$$H_p1 = 6,7 \text{ m}$$

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

$$W_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H_p1 \cdot \gamma_b$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,4^2 \cdot 6,7 \cdot 24$$

$$= 20,196 \text{ KN}$$

$$np = 8$$

$$P_{ta} = \frac{540 \times 1,256 \times 0,7}{5} + 20,196$$

$$= 110,63 \text{ KN}$$

Daya Dukung ijin tarik tiang grup

$$P_{ta} = P_{Sta} = 110,63 \text{ KN}$$

$$P_{Gta} = P_{Sta} \times np \times E_g \text{ (90% dari np)}$$

$$= (110,63 \times 8 \times 0,727) - 10\%$$

$$= 584,834 \text{ KN}$$

Dikarenakan adanya ketidaksesuaian penggunaan jumlah pile yang tidak simetris, maka P maks ijin group tiang tarik dikurangi 10%.

5) Perhitungan Terhadap Gaya Tarik

$$\text{Berat Pondasi } W_f = V_t \times \gamma_b$$

$$= 6,74 \times 24 = 161,84 \text{ KN}$$

Perhitungan Volume dan Berat Tanah :

$$\begin{aligned} \text{Volume Tanah } V_s &= (L_x \cdot L_y \cdot H_2) - (C_x \cdot C_y \cdot H_2) \\ &= (3,6 \cdot 3,6 \cdot 0,8) - (0,45 \cdot 0,45 \cdot 0,8) \\ &= 10,21 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Tanah } W_s &= V_s \times \gamma_s \\ &= 10,21 \times 16 = 163,30 \text{ KN} \end{aligned}$$

dimana:

$$\text{Sudut kemiringan pondasi} = 82,01^\circ$$

$$P_{\text{maks}} = \frac{P_u}{np} \pm \frac{M_x \cdot Y_{\text{max}}}{\Sigma Y^2} \pm \frac{M_y \cdot X_{\text{max}}}{\Sigma X^2}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_v &= F_t \\ &= 451,594 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$M_x = -31,48 \text{ KNm}$$

$$M_y = -14,94 \text{ KNm}$$

$$\text{Jumlah kuadrat absis tiang} \quad \Sigma X^2 = 8,64 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah kuadrat absis tiang} \quad \Sigma Y^2 = 8,64 \text{ m}^2$$

$$\text{Absis terjauh tiang} \quad X_{\text{maks}} = 1,20 \text{ m}$$

$$\text{Absis terjauh tiang} \quad Y_{\text{maks}} = 1,20 \text{ m}$$

Beban maksimum tiang

$$\sigma = \frac{\Sigma P_v}{np} + \frac{M_x \cdot Y_{\text{max}}}{\Sigma Y^2} + \frac{M_y \cdot X_{\text{max}}}{\Sigma X^2}$$

$$\sigma_1 = 50,002 \text{ KN} \quad (+, +)$$

$$\sigma_2 = 62,897 \text{ KN} \quad (-, -)$$

$$\sigma_3 = 54,153 \text{ KN} \quad (+, -)$$

$$\sigma_4 = 58,746 \text{ KN} \quad (-, +)$$

$$\sigma_{\text{maks}} = 62,897 \text{ KN}$$

$$\sigma_{\text{min}} = 50,002 \text{ KN}$$

$$\sigma_{\text{maks}} < P_{\text{sta}}$$

$$62,897 < 110,63 \text{ KN} \quad \dots \text{Aman}$$

Kontrol Terhadap Group Pile:

$$\begin{aligned} T_u &= (P_{\text{sta}} \times np \times E_g) + W_f + W_s \\ &= 584,834 + 161,84 + 163,30 \\ &= 909,968 \text{ KN} \end{aligned}$$

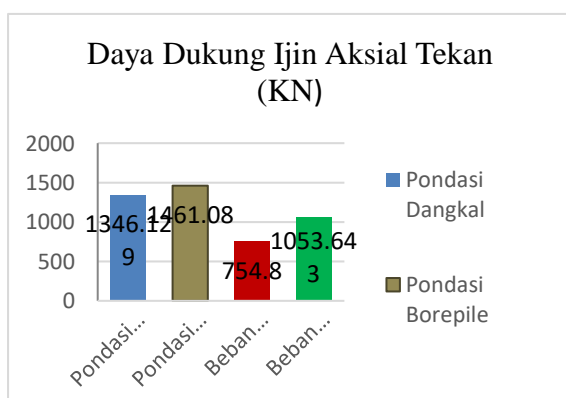
$$\begin{aligned} T_a &= T_u / SF \\ &= 909,968 / 2 = 454,98 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_a &> T \\ 454,98 &> 451,594 \text{ KN} \quad \dots \text{Aman} \end{aligned}$$

Syarat $T_u/T > SF$

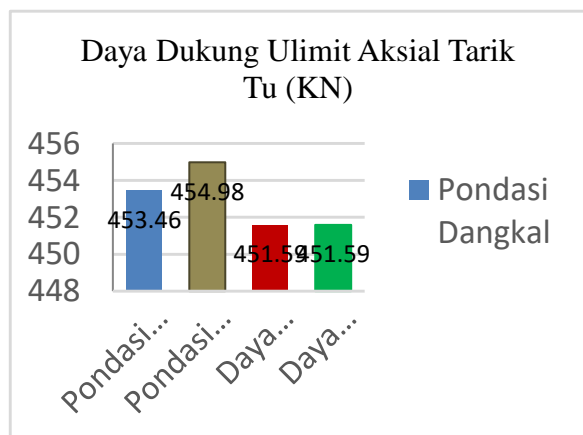
$$2,02 > 2 \quad \dots \text{Aman}$$

Berikut grafik hubungan daya dukung



pondasi terhadap gaya tekan (compress) pada Gambar 8 dan gaya tarik (uplift) pada Gambar 9.

Gambar 8. Grafik Hubungan Daya Dukung Pondasi Terhadap Gaya Tekan (Compress)



Gambar 9. Hubungan Daya Dukung Pondasi Terhadap Gaya Tarik/Angkat (Uplift)

6) Gaya Lateral

Menentukan tiang panjang/ tiang pendek:

Modulus elastisitas tiang,

$$E = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{18,875}$$

$$= 20.310,853 \text{ Mpa}$$

Momen Inersia Tiang,

$$I = 1/64 \cdot \pi \cdot D^4 = 0,0013 \text{ m}^4$$

Koefisien Modulus variasi,

$$n_h = 166 \text{ KN/m}^3 \text{ (Paulo \& Davis, 1980)}$$

$$\text{Modulus, Tanah tidak konstan } T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}}$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{20.310.853 \cdot 0,0013}{166}} = 2,737$$

Panjang tiang dalam tanah

$$L = H_p / T = 8 / 2,737 = 2,95 \text{ m}$$

Tiang termasuk tiang pendek (kaku) karena $L \leq 2T$

$$\text{Kohesi } undrained \ c_u = qc \text{ (ave)} / 20$$

$$= 12,6 / 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 63 \text{ KN/m}^2$$

Letak momen maksimal di lintang nol

$$f = H_u / 9c_u \cdot d$$

$$= 9 \times 63 \times 0,4 \cdot H_u$$

$$= 0,0044 H_u$$

$$\text{Mmen arah y } M_y = 30,31 \text{ KNm}$$

$$\text{Gaya Lateral ultimit } H_u = \frac{2 My}{\frac{3d}{2} + \frac{f}{2}}$$

$$H_u = \frac{2 \cdot (30,31)}{\frac{3 \cdot 0,4}{2} + \frac{0,0044}{2} H_u}$$

$$H_u = \frac{60,61}{0,60 + 0,0022 H_u}$$

$$60,61 = 0,60 H_u + 0,0022 H_u^2$$

Dihitung rumus persamaan kuadrat,

$$H_u = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$H_u = \frac{-0,60 \pm \sqrt{0,60^2 - 4 \cdot 0,0006 \cdot (-60,61)}}{2 \cdot 0,0006}$$

$$H_u = 78,421 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= H_u (L_p/2 + 3 D/2) \\ &= 78,421 (6,7/2 + 3 \cdot 0,4/2) \\ &= 309,76 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Karena $M_{\max} > M_y$, maka tiang termasuk tiang panjang

$$\text{Maks (Fx or Fy)/np} = 64,125 / 8 = 8,016 \text{ KN}$$

$$H_u/SF > \text{Maks (Fx or Fy)/np}$$

$$78,421/3 > 8,02$$

$$36,87 > 8,02 \text{Aman}$$

4. Perhitungan Tulangan Borepile

1) Data

$$\text{Beban Maksimum tiang } P_u = 1.053,64 \text{ KN}$$

$$\text{Jumlah pile } n_p = 8$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan nominal tiang } P_n &= P_u/n_p \\ &= 131,71 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\text{Diameter Pile } D = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang Tiang } H_{p1} = 6.700 \text{ mm}$$

$$\text{Berat jenis beton } \gamma_b = 24 \text{ KN/m}^3$$

$$\text{Mutu Beton } f_c' = 18,675 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu Baja } f_y = 390 \text{ Mpa U32}$$

$$f_y' = 240 \text{ MPa U24}$$

$$\text{selimut beton } p = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter } \emptyset \text{ tul} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter } \emptyset \text{ skg} = 10 \text{ mm}$$

Lebar kolom efektif

$$\begin{aligned} d' &= D - 2p - \emptyset \text{ tulangan} \\ &= 400 - (2 \cdot 75) - 16 = 234 \text{ mm} \end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,75$ (spiral)

Luas penampang efektif,

$$\begin{aligned} A_g &= 1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 0,25 \cdot 3,14 \cdot 234 = 42.983 \text{ mm} \end{aligned}$$

2) Menentukan Nilai luas tulangan A_{st}

$$\phi P_n = \phi \cdot 0,85 \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot A_g + A_{st}(f_y - 0,85 \cdot f_c'))$$

$$0,75 \times 131,71 = 0,75 \cdot 0,85 (0,85 \cdot$$

$$18,675 \cdot 42.983 + A_{st} (240 - 0,85 \cdot 18,675))$$

$$98.779,02 = 0,637 (682.309 + A_{st} 374,126))$$

$$98.779,02 = 434.971,795 + 238,505 A_{st}$$

$$A_{st} = 1.409,58 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan perlu

$$\begin{aligned} A_{s1} &= 1/4 \cdot \pi \cdot \emptyset_{tr}^2 \\ &= 0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2 = 201,143 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan,

$$A_{s2} = A_{st}/A_{s1} = 1.409,58/201,143 = 7,01 \approx 8$$

Luas tulangan,

$$A_s = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 201,143 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan terpasang } A_s' &= A_s N \\ &= 201,143 \times 8 = 1.609,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat, $A_s' > A_{s_{\min}}$

$$1.609,14 > 1.409,58 \text{OK}$$

Menurut peraturan SNI 2847: 2013

Pasal 10.9.1, rasio antara luas tulangan dan luas tulangan kolom harus lebih besar dari 1% - 8%.

$$\begin{aligned} \text{Kontrol} &= A_s' \times (1/4 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 1.609,14 \times (0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,4^2) \\ &= 1,281 \% \text{ lebih dari } 1\% \text{OK} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan 8 D 16

3) Menghitung Tulangan Spiral

$$\begin{aligned} \text{Beban maksimum tiang } N_u &= 1.053,643 \text{ KN} \\ &= 1.053.643 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Kuat geser terfaktor } V_u = H_u = 26,14 \text{ KN}$$

Luas penampang efektif,

$$A_g = 1/4 \cdot 3,14 \cdot 400 \text{ mm} = 125.600 \text{ mm}$$

Kuat geser nominal beton,

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} D \cdot d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{1.053.643}{14 \times 125.600} \right) 1 \sqrt{18,675} \cdot 400 \cdot 234 \\ &= 109.966,23 \text{ N} = 109,97 \text{ KN} \end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,75$ (senggang spiral)

$$\Phi V_c = 0,75 \times 109,97 = 83,889 \text{ KN}$$

$$\text{Kontrol } V_u < 1/2 \Phi V_c$$

$$26,14 \text{ KN} < 41,237 \text{ KN}$$

sehingga tidak perlu tulangan geser

4) Menentukan Jarak Tulangan Spiral

Menentukan luas tulangan minimum menggunakan persamaan:

Luas tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times 1/4 \cdot \pi \cdot \emptyset_{skg}^2 \\ &= 2 \times 1/4 \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 157 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan spiral

$$S = A_v \cdot F_y / 3,5 D$$

$$S = 376.800 / 1.400$$

$$S = 269 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Kontrol jarak:

$$S \leq 48 \text{ kali diameter sengkang}$$

$$= 48 \times 10 = 480 \text{ mm}$$

$$S \leq 16 \text{ kali diameter utama}$$

$$= 16 \times 16 = 256 \text{ mm}$$

$$S \leq \text{diameter penampang dibagi 2}$$

$$= 400/2 = 200 \text{ mm}$$

$$S \leq 600 \text{ mm}$$

Maka jarak tulangan spiral diambil jarak minimum Ø10 – 200 mm.

5. Perencanaan Pile Cap

1) Kontrol Geser Satu Arah (V_{u1})

Eksentrisitas $e = 1/2 \cdot 3,6 - 1/2 \cdot 0,45 = 1,58 \text{ m}$

Tegangan pada garis eksentrisitas,

$$\sigma_e = \sigma_{\min} + \frac{(B.e)(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{L_x}$$

$$= 131,862 + \frac{(3,6 \cdot 1,58)(37,578 - 25,833)}{3,6}$$

$$= 122,16 \text{ KN/m}^2$$

Kuat geser terfaktor,

$$V_u = e \cdot L_x \cdot \frac{(\sigma_e + \sigma_{\max} - \sigma_e)}{2}$$

$$= 1,58 \cdot 3,6 \cdot \frac{(122,16 + 137,578 - 122,16)}{2}$$

$$= 736,36 \text{ KN}$$

Kuat geser beton,

$$V_c = 0,17 \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot L_x \cdot H_1$$

$$= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{18,675} \cdot 3,6 \cdot 0,5$$

$$= 1.322.366 \text{ N} = 1.322,4 \text{ KN}$$

Faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,75$ (geser)

$$\text{Syarat, } \Phi V_c \geq V_u$$

$$991,8 > 736,36 \text{ KN} \dots \text{Aman}$$

2) Kontrol Geser Dua Arah (V_{u2}) disekitar Kolom

Gaya geser yang ditahan beton:

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o H_1$$

$$= 0,17 \left(1 + \frac{2}{0,85} \right) 1 \sqrt{18,675} \cdot 2,8 \cdot 0,5$$

$$= 3.448.523,6 \text{ N} = 3.448,52 \text{ KN}$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{\alpha_s H_1}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o d \cdot H_1$$

$$= 0,083 \left(\frac{20 \cdot 0,5}{2,8} + 2 \right) 1 \sqrt{18,675} \cdot 2,8 \cdot 0,5$$

$$= 2.797.712 \text{ N} = 2.797,71 \text{ KN}$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} b_o H_1$$

$$= 0,33 \cdot 1 \sqrt{18,675} \cdot 2,8 \cdot 0,5$$

$$= 1.996.513,6 \text{ N} = 1.996,51 \text{ KN}$$

Diambil nilai terkecil antara V_{c1} , V_{c2} dan V_{c3}

Kuat geser nominal yang ditahan beton,

$$V_n = \text{Min} (V_{c1} : V_{c2} : V_{c3}) = 1.996,513 \text{ KN}$$

Faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,75$ (geser)

$$\text{Syarat, } \Phi V_n \geq V_u$$

$$1.497,4 > 1.053,64 \text{ KN} \dots \text{Aman}$$

3) Kontrol Geser Dua Arah (V_{u2}) disekitar Pile

Reaksi pada tiap pile,

$$V_u = \frac{P_u}{n_p} = 1.053,64/8 = 131,705 \text{ KN}$$

Gaya geser yang ditahan beton:

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o H_1$$

$$= 0,17 \left(1 + \frac{2}{0,85} \right) 1 \sqrt{18,675} \cdot 3,15 \cdot 0,5$$

$$= 3.879.589 \text{ N}$$

$$= 3.879,59 \text{ KN}$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{\alpha_s H_1}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o d \cdot H_1$$

$$= 0,083 \left(\frac{20 \cdot 0,5}{3,15} + 2 \right) 1 \sqrt{18,675} \cdot 3,15 \cdot 0,5$$

$$= 788.813,6 \text{ N} = 788,81 \text{ KN}$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} b_o H_1$$

$$= 0,33 \cdot 1 \sqrt{18,675} \cdot 3,15 \cdot 0,5$$

$$= 606.084,5 \text{ N} = 606,08 \text{ KN}$$

Diambil nilai terkecil antara V_{c1} , V_{c2} dan V_{c3}

Kuat geser nominal yang ditahan beton

$$V_n = \text{Min} (V_{c1} : V_{c2} : V_{c3}) = 606,08 \text{ KN}$$

Faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,75$ (geser)

$$\text{Syarat, } \Phi V_n \geq V_u$$

$$454,6 > 131,705 \text{ KN} \dots \text{Aman}$$

6. Perhitungan Tulangan Pile Cap

$$\text{Jarak antar pile } S_1 = 1.200 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton } p = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter } \emptyset_{\text{tul}} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar Pad } L_x = L_y = 3.600 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Pad } H_1 = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Pad efektif } H_1' = H_1 - p - 0,5 D_{\text{tul}}$$

$$= 500 - 75 - (0,5 \cdot 16) = 417 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar Kolom Pedestal } C_x - C_y = 450 \text{ mm}$$

$$\text{Beban Maksimum Tiang } P_u = 1.053,643 \text{ KN}$$

$$\text{Jumlah Pile } n_p = 8$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan } \phi = 0,90$$

$$\text{Faktor kuat tekan beton } \beta_1 = 0,85$$

$$\text{Mut beton } f_c' = 18,675 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu Baja } f_y = 390 \text{ Mpa (U-32)}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen rencana } \mu &= 3(P_u/n_p) \times (S_1 - (C_x/2)) \\ &= 3(1.053,643/8) \times (1.200 - (450/2)) \\ &= 385.238,16 \text{ KNmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Resistance } R_n &= \mu / \phi \cdot L_x \cdot H^2 \\ &= 385.238,16 / 0,90 \cdot 3.600 \cdot 500^2 \\ &= 0,476 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= f_y / (0,85 \cdot f_c') \\ &= 390 / (0,85 \cdot 18,675) = 24,569 \end{aligned}$$

Rasio tulangan perlu,

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot (1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}}) \\ &= \frac{1}{24,569} \cdot (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 24,569 \cdot 0,476}{390}}) = 0,0012 \\ \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 18,675}{390} \cdot \frac{600}{600 + 390} = 0,021 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum,

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,021 = 0,016$$

Rasio tulangan minimum,

$$\rho_{\text{min}} = 0,0020$$

Syarat, $\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$

Menurut SNI 2847: 2013 Pasal 7.12.2.1

Maka rasio yang dipakai = 0,0020

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{min}}} &= \rho \times B \times H' \\ &= 0,0020 \cdot 3.600 \times 417 \\ &= 3.002,400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai diameter tulangan D16

Luas tulangan minimum,

$$\begin{aligned} A_s &= 1/4 \cdot \pi \cdot \phi_{\text{tr}}^2 \\ &= 0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2 = 201,143 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Tulangan } N &= A_{S_{\text{min}}} / A_s \\ &= 3.002,400 / 201,143 \\ &= 14,927 \approx 15 \end{aligned}$$

Luas tulangan terpasang,

$$\begin{aligned} A_s' &= A_s \cdot N \\ &= 201,143 \times 15 = 3.017,143 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat, } A_s' &> A_{S_{\text{min}}} \\ 3.017,143 &> 3.002,400 \text{ mm}^2 \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan:

$$30 - D 16 \text{ mm} \infty D 16 \text{ mm} - 201,14 \text{ mm}$$

Digunakan jarak tulangan:

$$200 \text{ mm} = D16 - 210 \text{ mm} = 19 \text{ NOS.}$$

7. Penulangan Kolom Pedestal

Momen rencana $\mu = H_{\text{maks}}(C_t \text{ dan } C_L) \cdot H$

$$= 64,125 \times 1,8 = 115,425 \text{ KNm}$$

Beban aksial nominal $P_n = 1,4 \times P$

$$= 1,4 \times 566,937$$

$$= 793,712 \text{ KN}$$

Lebar kolom $C_x, C_y = 450 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Lebar kolom efektif } C_x', C_y' &= C_x - 2p - \phi_{\text{tul}} \\ &= 450 - (2 \times 40) - 16 = 354 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berat jenis beton $\gamma_b = 24 \text{ KN/m}^2$

Mutu beton K225 $f_c' = 18,675 \text{ Mpa}$

Mutu baja $f_y = 390 \text{ MPa}$

Selimit beton $p = 40 \text{ mm}$ (SNI 2847:2013 Pasal 7.7.1)

Diameter tulangan $\phi_{\text{tul}} = 16 \text{ mm}$

Luas penampang efektif,

$$A_g = 1/4 \cdot 3,14 \cdot 354^2 = 98,373 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai eksentrisitas } e &= \mu / P_n = 0,145 \text{ KN} \\ &= 145,424 \text{ mm} \end{aligned}$$

$e < C_x'$ (Tekan)

Faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,65$ (persegi)

Menentukan nilai A_{st} dengan menggunakan persamaan Withney:

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{C_x \cdot C_y \cdot f_c'}{\frac{3C_x \cdot e}{C_x'^2} + 1,18} + \frac{A_s' \cdot f_y}{\frac{e}{(C_x' - d')} + 0,5} \\ 793.711,8 &= \frac{450 \cdot 450 \cdot 18,675}{\frac{3 \cdot 450 \cdot 145,424}{354^2} + 1,18} \\ &\quad + \frac{A_s' \cdot 390}{\frac{145,424}{(354 - 75)} + 0,5} \end{aligned}$$

$$A_{st} = 1.400,105 \text{ mm}^2$$

Luas Tulangan perlu D16

$$\begin{aligned} A_s &= 1/4 \cdot \pi \cdot \phi_{\text{tul}}^2 \\ &= 0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2 = 201,143 \cdot 12 = 2.414 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang digunakan $S = 12$

Luas tulangan terpasang $A_s' = A_s \times S$

$$A_s' = 201,143 \cdot 12 = 2.414 \text{ mm}^2$$

$A_s' > A_{S_{\text{min}}}$

$$2.414 > 1.440,105 \dots \text{OK}$$

Menurut SNI 2847: 2013 Pasal 19.9.1, rasio antara tulangan dan luas kolom harus lebih besar dari 1% - 8%.

Kontrol = $A_s / (C_x \cdot C_y)$

$$= 2.414 / (450 \times 450)$$

$$= 1,192\% \text{ lebih dari } 1\% \dots \text{OK}$$

Maka dipakai tulangan 12 D 16

8. Perhitungan Tulangan Sengkang Pedestal

Diameter tulangan utama $\phi_{\text{tul}} = 16 \text{ mm}$

Diameter tulangan sengkang $\phi_{\text{skg}} = 16 \text{ mm}$

Selimut beton $p = 40$ mm (SNI 2847:2013 Pasal 7.7.1)

Lebar kolom pedestal $C_x - C_y = 450$ mm

Lebar kolom efektif $C_x' - C_y' = b - 2p - \varnothing_{skg}$
 $= 450 - 2 \cdot 40 - 10 = 360$ mm

Tinggi kolom pedestal $H_4 = 1,3$ m

Gaya geser yang bekerja ,

$V_{u \max} = 1,4 \times 64,125 = 89,775$ KN

Luas penampang efektif,

$A_g = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 360^2 = 101.736$ mm²

Mutu baja $f_y = 240$ MPa

Mutu beton K225 $f_c' = 18,675$ MPa

Gaya geser yang ditahan beton:

$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{P_u}{14 \times A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} C_x \cdot H_4$

$= 0,17 \left(1 + \frac{793,712}{14 \times 101.736} \right) 1 \sqrt{18,675} \cdot 450 \cdot 360$
 $= 4300.008,50$ N = 430,01 KN

Faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,65$ (persegi)

$\phi V_c = 0,65 \times 430,01$

$= 279,506$ KN

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

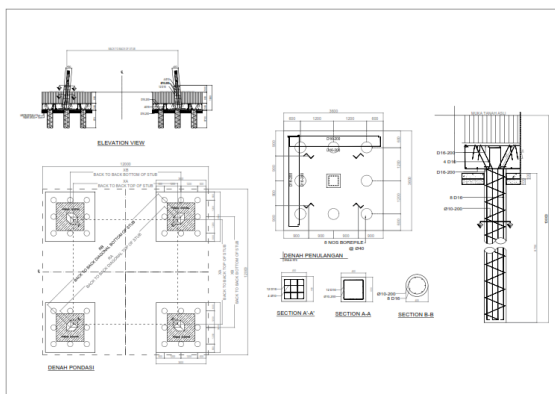
$89,775 < 139,75$ KNOK

Dari perhitungan diatas, menurut SNI 2843:2013 Pasal 7.10.5.2 jarak tulangan minimum diambil ketentuan sebagai berikut :

- 48 kali diameter sengkang = 48 ($\varnothing 10$) = 480 mm
- 16 kali diameter tulangan memanjang = 16 ($\varnothing 16$) = 256 mm
- Dimensi terkecil penampang kolom $C_x - C_y = 450$ mm

Nilai terkecil dari ketentuan diatas diambil jarak tulangan minimum sebesar 265 mm \approx 250 mm.

Maka tulangan sengkang $\varnothing 10 - 250$ mm.



Gambar 10. Desain Pondasi Tipe AA6+6 T.05 PT Semen Grobogan

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan modifikasi desain pondasi tower T.05 AA6+0 kelas 3 tipe normal menjadi AA6+6 kelas 6 tipe borepile, di dapat kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dimensi pondasi tower T.05 AA6+6 tipe borepile diameter 40 cm pada kedalaman 8 meter sesuai Standar PLN T5.008: 2015 dinyatakan aman terhadap gaya tekan (compress) dengan daya dukung ijin maksimum tiang tekan kelompok (PGtk) lebih besar dari beban ultimit terfaktor (P_u) dan aman terhadap gaya tarik (uplift) dengan daya dukung ijin aksial tarik (T_a) lebih besar dari daya dukung aksial tarik (T). Dibandingkan dimensi pondasi tower kelas 3 tipe normal yang direncanakan menggunakan dimensi pondasi telapak 3,8 m x 3,8 m aman terhadap gaya – gaya yang bekerja tetapi tidak dapat digunakan karena keterbatasan lahan di area titik tower. Sedangkan dimensi pondasi 3,6 m x 3,6 m tidak aman terhadap gaya tarik (uplift).
- b. Hasil perhitungan gaya lateral didapat gaya lateral ultimit (H_u) sebesar 26,14 KN dan sesuai analisis keamanan stabilitas pondasi T.05 AA6+6 tipe borepile aman terhadap gaya geser satu arah dan gaya geser dua arah dengan kuat geser nominal yang ditahan beton (ϕV_n) lebih besar dari kuat geser terfaktor (V_u).
- c. Hasil perhitungan penulangan yang efektif pada pondasi tower T.05 AA6+6 kelas 6 tipe borepile sesuai SNI 2847: 2013 sebagai berikut:
 - 1) Penulangan pondasi borepile diameter 40 cm pada kedalaman 8 meter diperoleh tulangan 8 D 16 didapat luas tulangan terpasang (A_s') lebih besar dari luas tulangan minimum (A_{smin}) dengan rasio tulangan memanjang (ρ_g) lebih besar dari 1%-8%. Selanjutnya untuk

tulangan spiral digunakan diameter tulangan $\varnothing 10 - 200$ mm.

- 2) Perhitungan Penulangan Pilecap terdiri dari perhitugan penulangan pad dan kolom pedestal. Pad pondasi digunakan tulangan diameter 30 D 16 – 200 mm didapat luas tulangan terpasang (As') lebih besar dari luas tulangan minimum (Asmin).
- 3) Perhitungan Penulangan kolom pedestal digunakan tulangan 12 D 16 didapat luas tulangan terpasang (As') lebih besar dari luas tulangan minimum (Asmin) dengan rasio tulangan memanjang (ρ_g) lebih besar dari 1%-8%. Selanjutnya untuk tulangan sengkang kolom pedestal digunakan diameter tulangan sekgang $\varnothing 10 - 250$ mm.

2. Saran

Adapun saran-saran dari penulis terkait penelitian ini antara lain :

- a. Pentingnya survey terkait kondisi lokasi lahan tapak tower di lapangan sebelum melaksanakan perencanaan desain yang berpengaruh pada pada dimensi pondasi.
- b. Pada perancangan modifikasi dimensi dan perubahan tipe pondasi tower ini diharapkan menjadi bahan referensi dalam hal perencanaan desain pondasi tower dengan tetap memenuhi standar PT PLN (Persero) dan SNI yang berlaku.
- c. Diperlukan adanya program berupa aplikasi desain pondasi sehingga dapat dijadikan perbandingan hitungan antara versi manual dan aplikasi. Selain lebih efektif dan efisien penggunaan aplikasi dapat membantu mempercepat perhitungan dalam perancangan.
- d. Sebagai bahan evaluasi perencanaan pada pondasi tower selain dari daya dukung ijin tekan (compress) diwajibkan mempertimbangkan perhitungan gaya tarik (uplift) karena sangat berpengaruh besar terhadap keamanan dan kestabilan pondasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. *Transmission Steel Tower Design Standard*. Japan Electrical Comitee JSCE-127.
- ASCE 10-97. (1997). *The Design of Lattice Steel Transmission Structure*. American Society of Civil Engineers.
- Das, Braja M, Endah N, Mochtar IB, 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*. Jakarta : Erlangga.
- Hardiyatmo, Hary Crishtady. (2018). *Analisis dan Perancangan Fondasi 2, Edisi keempat*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Pamungkas, Anugrah., Erny Harianti. (2013). *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta: C.V Andi Offset.
- Peraturan Menteri Energi dan Suber Daya Mineral Reublik Indonesia. (2019). *Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi, Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi, Dan Saluran Udara Tegangan Tinggi Arus Searah Untuk Penyaluran Tenaga Listrik*. No. 2
- Setiawan, Agus.S.T, M.T. Simarmata, S.T. (2016). *Perancangan struktur beton bertulang berdasarkan SNI 2847: 2013*. Jakarta: Erlangga.
- Sugiono. Prod., Dr. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta CV
- Surat Perjanjian. (2011). *Rekonduktoring SUTT 150 kV Ungaran TX 46 GI Mranggen – Purwodadi*. KSO PT Dalima Putra Perdana – PT Kembar Abadi – PT Sangkan Jaya. PT PLN (Persero) UIT JBT. 2011
- SNI 2847-2013. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarlisasi Nasional
- SPLN T.5.004.2010. (2010). *Kriteria Desain Tower angka Baja untuk SUTT dan SUTET*. PT Perusahaan Listrik Negara (Persero).

SPLN T5.008.-2015. (2015). *Panduan Desain Pondasi Tower Rangka Saluran Udara Tenaga Listrik Berdasarkan Hasil Uji Penetrasi Konus/ Sondir (CPT)*: PT Perusahaan Listrik Negara (Persero).