



## Analisis Daya Dukung Fondasi Bored Pile Pada Pembangunan Tower Transmisi Line 150 kV Donggala, Sulawesi Tengah

Dwi I. Putri<sup>#a</sup>, Roski R. I. Legrans<sup>#b</sup>, Lanny D. K. Manaroinsong<sup>#c</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia  
<sup>a</sup>dwiiputri021@student.unsrat.ac.id, <sup>b</sup>legransroski@unsrat.ac.id, <sup>c</sup>lanny.manaroinsong@unsrat.ac.id

### Abstrak

Pembangunan jaringan transmisi 150 kV memerlukan sistem fondasi yang mampu menahan beban aksial, tarik (uplift), dan lateral secara aman. Penelitian ini menganalisis kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi bored pile pada Tower T.180 tipe BB+15 pada jalur transmisi 150 kV Tambu–Bangkir I di Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah. Analisis dilakukan menggunakan data uji sondir (CPT), pemodelan struktur dengan Ms Tower v.6.2, serta evaluasi kapasitas fondasi dengan variasi diameter bored pile 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m pada kedalaman 6 m dengan konfigurasi 4 tiang kelompok. Hasil analisis menunjukkan bahwa daya dukung aksial izin kelompok berdasarkan metode De Ruiters–Beringen, Schmertmann, dan Ensoft Shaft meningkat seiring bertambahnya diameter tiang. Diameter 0,4 m dinyatakan tidak aman karena kapasitas aksialnya lebih kecil dari beban tekan rencana, sedangkan diameter 0,6 m dan 0,8 m memenuhi kriteria. Kapasitas uplift dan daya dukung lateral seluruh variasi diameter berada di atas beban rencana, sehingga aman terhadap gaya tarik dan lateral. Analisis penurunan menggunakan Settle 3D menghasilkan nilai penurunan maksimum 2,63–5,52 mm, masih di bawah batas izin. Evaluasi stabilitas terhadap guling menunjukkan bahwa diameter 0,4 m pada salah satu kaki tower tidak memenuhi syarat, sedangkan seluruh variasi diameter aman terhadap geser. Secara keseluruhan, fondasi bored pile dengan diameter minimum 0,6 m direkomendasikan karena memenuhi seluruh persyaratan kapasitas aksial, uplift, lateral, penurunan, serta stabilitas eksternal untuk menopang Tower T.180 pada proyek transmisi 150 kV Tambu–Bangkir I.

*Kata kunci: bored pile, daya dukung aksial, uplift, daya dukung lateral, tower transmisi line*

### 1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan merupakan elemen strategis dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan pemerataan pembangunan nasional. Ketersediaan energi listrik yang andal sangat penting karena seluruh sektor—rumah tangga, industri, hingga layanan publik—bergantung pada pasokan listrik yang stabil. Dalam sistem ketenagalistrikan, jaringan transmisi berfungsi sebagai penghubung utama antara pusat pembangkit dan konsumen, sehingga keandalan struktur pendukungnya menjadi aspek yang sangat krusial.

Sebagai penyelenggara tunggal penyedia tenaga listrik di Indonesia, PT PLN (Persero) terus melakukan pengembangan jaringan transmisi untuk meningkatkan kapasitas dan keandalan sistem kelistrikan nasional. Salah satu proyek strategis tersebut adalah pembangunan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Tambu–Bangkir I, yang melintasi wilayah Kabupaten Donggala hingga Kabupaten Toli-Toli, Sulawesi Tengah.

Dalam pembangunan jaringan transmisi, menara transmisi harus mampu menahan beban vertikal, lateral, serta gaya tarik akibat angin, gempa, dan tarikan konduktor. Oleh karena itu, kestabilan dan kapasitas fondasi menjadi faktor penentu keselamatan struktur. Fondasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah setempat, sehingga diperlukan investigasi geoteknik yang memadai, termasuk pengujian Cone Penetration Test (CPT) untuk memperoleh parameter tanah yang digunakan dalam analisis daya dukung.

Penelitian ini berfokus pada analisis daya dukung dan penurunan fondasi bored pile pada

Tower T.180 jalur transmisi 150 kV Tambu–Bangkir I, dengan memanfaatkan data sondir lapangan dan pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak rekayasa. Analisis dilakukan untuk menentukan kapasitas aksial, lateral, uplift, serta stabilitas eksternal fondasi sehingga dapat diperoleh rekomendasi desain fondasi yang aman dan andal.

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis deskriptif untuk mengevaluasi kinerja fondasi bored pile pada pembangunan tower transmisi line 150 kV Tambu–Bangkir I di Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah. Analisis difokuskan pada daya dukung aksial tiang kelompok, kapasitas tarik (uplift), kapasitas lateral, serta penurunan tiang kelompok dengan variasi diameter bored pile (0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m). Hasil analisis diharapkan memberikan rekomendasi desain fondasi bored pile yang aman dan sesuai standar.

### 2.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada proyek Transmisi Line SUTT 150 kV Tambu–Bangkir I yang dilaksanakan oleh PT PLN (Persero) di Desa Tonggolobi, Kecamatan Sojol, Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah, tepatnya pada Tower T.180 tipe BB+15.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

### 2.3 Tahapan Analisis data

Dalam penelitian ini, analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

- Analisis beban fondasi  
Beban aksial tekan, beban aksial tarik (uplift), dan beban lateral pada setiap kaki tower dianalisis menggunakan perangkat lunak MS Tower v.6.2 untuk memperoleh distribusi beban yang bekerja pada fondasi.
- Analisis daya dukung aksial  
Kapasitas aksial fondasi bored pile dihitung dengan metode De Ruiters & Beringen, Schmertmann, serta perangkat lunak Ensoft SHAFT v.2023. Selanjutnya dilakukan perhitungan kapasitas tarik (uplift) dan kapasitas lateral menggunakan metode Reese & Matlock.
- Analisis penurunan fondasi  
Penurunan fondasi dihitung dengan metode Vesic (1977) dan perangkat lunak Settle3D, sehingga diperoleh gambaran distribusi penurunan tanah secara lebih detail dan komprehensif.

### 2.4 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder hasil pengujian Cone Penetration Test (CPT) yang diperoleh dari Pusat Manajemen Proyek UPMK V PST Jaringan

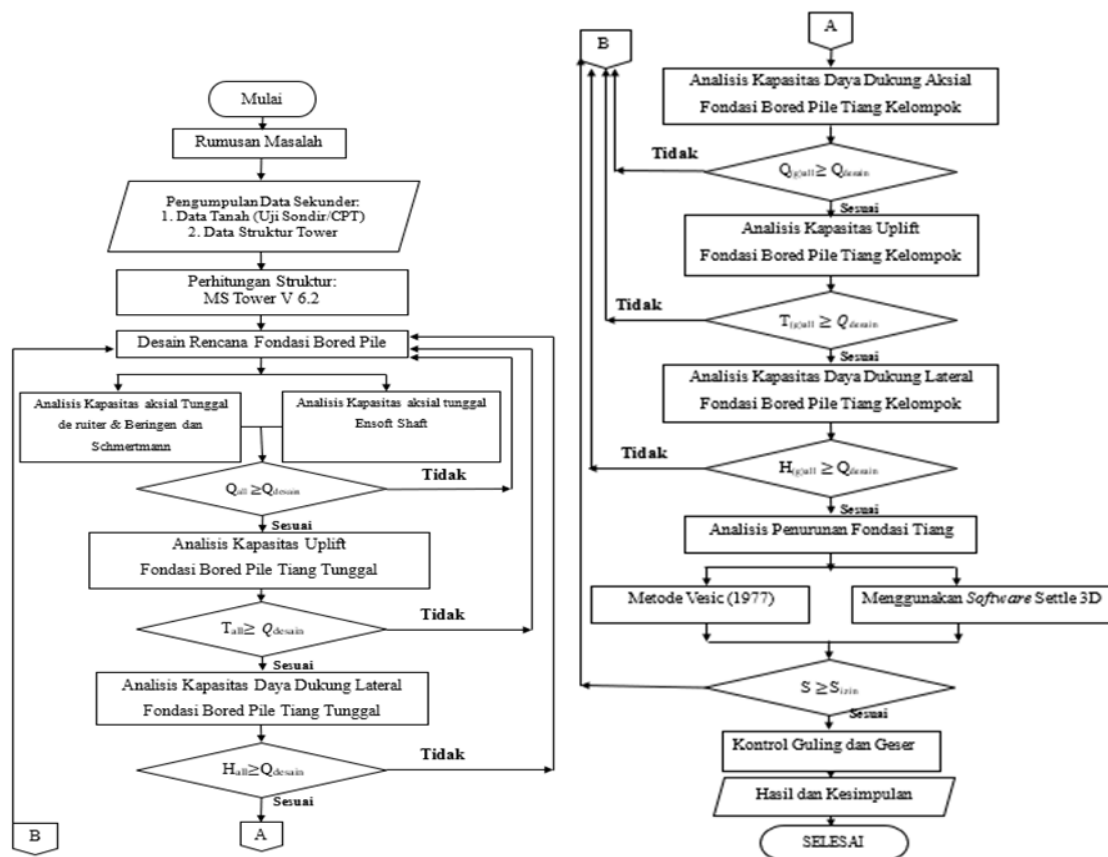
Sulawesi II. Data CPT digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah di lokasi penelitian, termasuk nilai tahanan konus, hambatan selimut, serta kedalaman lapisan. Parameter tanah kemudian diturunkan melalui korelasi empiris untuk digunakan dalam analisis daya dukung dan penurunan fondasi bored pile.

**Tabel 1.** Parameter Tanah berdasarkan Korelasi terhadap Hasil CPT

Kedalaman (m)	Soil Type	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$C'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$E$ (kN/m <sup>2</sup> )
1,00	Clay : clay to silty clay	17,12	57,35	5,7	0,00	3471,68
3,20	Sand mixture : silty sand to sandy sil	19,03	0	0	39,47	19658,58
4,00	Sands : clean sands to silty sands	12,93	0	0	42,71	38982,83
5,20	Sand mixture : silty sand to sandy sil	9,08	0	0	38,25	17260,32
6,40	Sands : clean sands to silty sands	9,98	0	0	42,62	43886,33

## 2.5 Tahapan Analisis

Tahap analisis mengikuti alur pada Gambar 2.



## 3. Hasil dan Pembahasan

Analisis dilakukan dengan panjang fondasi *bored pile* 6 meter, jumlah *bored pile* 4 dengan variasi diameter 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m.

### 3.1 Beban Struktur

Pembebanan pada menara transmisi listrik ditentukan oleh jenis material, profil rangka batang, serta tipe menara yang digunakan. Pada Tower T.180 tipe BB+15 di Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah, beban yang bekerja meliputi beban aksial tekan, beban aksial tarik (uplift), dan beban lateral yang berasal dari berat struktur, kabel penghantar, serta pengaruh lingkungan seperti angin dan gempa.

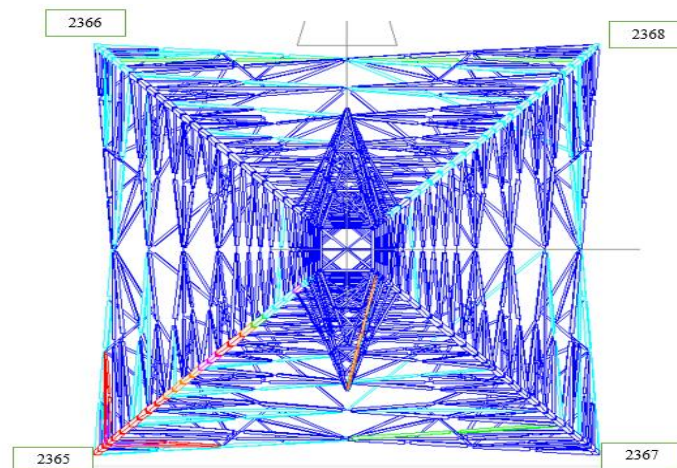
Untuk memperoleh distribusi beban yang lebih akurat, dilakukan pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak MS Tower v.6.2. Analisis ini menghasilkan data pembebanan pada setiap kaki fondasi yang kemudian digunakan sebagai input dalam perhitungan daya dukung aksial, kapasitas uplift, kapasitas lateral, serta penurunan fondasi bored pile.

Dengan demikian, hasil analisis beban struktur menjadi dasar penting dalam menentukan desain fondasi yang aman dan stabil bagi tower transmisi 150 kV Tambu–Bangkir I. Detail Tower:

Tipe Tower	= BB+15 pada nomor tower T.180
Sudut	= 8 °33'36''
Konduktor	= 2cc, ACSR 2 × 250
Lebar atas (plan bracing)	= 1,25 m
Lebar bawah (plan bracing)	= 11,228 m
Tinggi Tower	= 54,7 m
Lebar Kaki	= 13 m

**Tabel 2.** Hasil Analisis Beban Struktur dengan SM Tower V 6.2

Case	Titik	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
970	2365	62.355	49.564	529.513	4.634	-3.583	-0.288
	2366	34.835	20.704	-10.556	-0.874	2.701	0.556
	2367	27.204	28.084	108.460	0.313	3.875	-0.554
	2368	55.074	42.030	-432.226	3.461	-2.346	0.289



**Gambar 2.** Hasil Analisis Beban Struktur dengan SM Tower V 6.2

Dari Tabel 2 diatas, dapat diketahui bahwa beban struktur terbesar berada pada kaki tower nomor 2365 sebesar 529,513 kN dan uplift force sebesar 432,226 kN.

### 3.2 Daya Dukung Aksial Fondasi Bored pile Tiang Tunggal

Analisis kapasitas aksial tiang tunggal dengan panjang 6 m dilakukan menggunakan tiga pendekatan, yaitu metode De Ruiter & Beringen (1979), metode Schmertmann, serta perangkat lunak Ensoft SHAFT v.2023.

**Tabel 3.** Hasil Analisis Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal

Diameter	Metode De Ruiter & Beringen				
	Kedalaman	Q <sub>p</sub>	Q <sub>s</sub>	Q <sub>ult</sub>	Q <sub>all</sub>
m	m	kN	kN	kN	kN
0,4	6	1532,469	222,7	1755,157	702,063
0,6	6	3165,049	404,7	3569,744	1427,898
0,8	6	4805,330	911,9	5717,190	2286,876

**Tabel 3.** (lanjutan)

Diameter	Metode Schmertmann				
	Kedalaman	Q <sub>p</sub>	Q <sub>s</sub>	Q <sub>ult</sub>	Q <sub>all</sub>
m	m	kN	kN	kN	kN
0,4	6	766,235	635,771	1402,006	560,802
0,6	6	1582,525	731,948	2314,472	925,789
0,8	6	2402,665	759,766	3162,431	1264,972

Diameter	Software Ensoft Shaft				
	Kedalaman	Q <sub>p</sub>	Q <sub>s</sub>	Q <sub>ult</sub>	Q <sub>all</sub>
m	m	kN	kN	kN	kN
0,4	6	361,1	153,6	514,7	205,9
0,6	6	812,4	230,4	1042,8	417,1
0,8	6	1288,3	307,2	1595,5	638,2

### 3.3 Daya Dukung Aksial Fondasi Bored Pile Tiang Kelompok

Hasil analisis daya dukung aksial tiang kelompok ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Daya Dukung Aksial Fondasi Bored Pile Tiang Kelompok

De Ruiter & Beringen			
Diameter	Q <sub>g(all)</sub>	P <sub>u</sub>	Kontrol
(m)	(kN)	(kN)	Q <sub>g(all)</sub> > P <sub>u</sub>
0,4	2106,188	643,081	FONDASI AMAN
0,6	4283,693	784,816	FONDASI AMAN
0,8	6860,629	983,56	FONDASI AMAN

Q <sub>g(all)</sub> Dari metode Schmertmann			
Diameter	Q <sub>g(all)</sub>	P <sub>u</sub>	Kontrol
(m)	(kN)	(kN)	Q <sub>g(all)</sub> > P <sub>u</sub>
0,4	1682,407	643,081	FONDASI AMAN
0,6	2777,367	784,816	FONDASI AMAN
0,8	3794,917	983,56	FONDASI AMAN

Q <sub>g(all)</sub> Dari Ensoft Shaft 2023			
Diameter	Q <sub>g(all)</sub>	P <sub>u</sub>	Kontrol
(m)	(kN)	(kN)	Q <sub>g(all)</sub> > P <sub>u</sub>
0,4	617,640	643,081	<b>TIDAK AMAN</b>
0,6	1251,360	784,816	FONDASI AMAN
0,8	1914,600	983,56	FONDASI AMAN

**Tabel 5.** Kontrol Daya Dukung Aksial Terhadap Faktor Keamanan

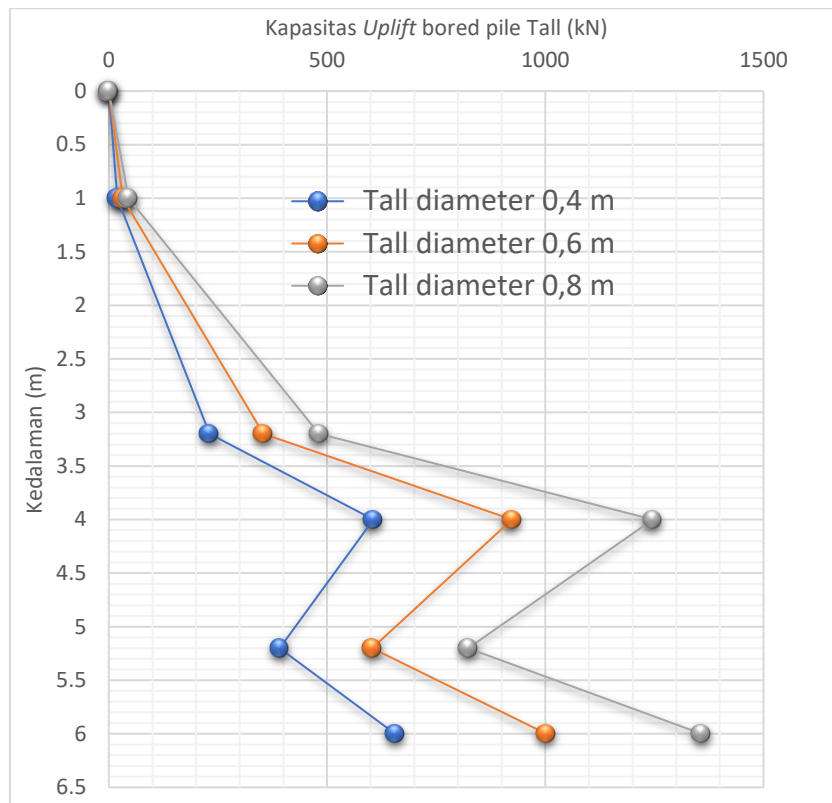
kontrol Daya Dukung Aksial Terhadap Faktor Keamanan (2,5)						
Diameter	De Ruiter & Beringen		Scmertmann		Ensoft SHAFT	
	Tunggal	Kelompok	Tunggal	Kelompok	Tunggal	Kelompok
0,4	10,90	7,36	8,71	5,88	3,20	2,16
0,6	18,18	11,30	8,06	7,33	5,31	3,30
0,8	23,26	13,47	9,77	7,45	6,49	3,76

Dari hasil analisis, terlihat bahwa kedalaman tiang 6 m dengan variasi diameter 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m memberikan hasil yang berbeda tergantung metode yang digunakan:

- Metode De Ruiter & Beringen dan metode Schmertmann menunjukkan bahwa seluruh variasi diameter tiang kelompok masih aman terhadap beban aksial rencana. Kedua metode ini cenderung memberikan kapasitas lebih tinggi karena berbasis korelasi empiris dari data CPT.
- Software Ensoft SHAFT menghasilkan nilai kapasitas aksial izin yang lebih rendah, sehingga lebih konservatif. Pada diameter 0,4 m, kapasitas izin kelompok ternyata lebih kecil dibandingkan beban aksial desain, dengan faktor keamanan hanya 2,16, sehingga dinyatakan tidak aman.

### 3.4 Daya Dukung Aksial Tarik (Uplift) Fondasi Bored Pile

Hasil analisis daya dukung aksial tarik ijin (T<sub>all</sub>) ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 6.



**Gambar 3.** Hasil Analisis Daya Dukung Aksial Tarik (*uplift*) ijin tiang tunggal ( $T_{all}$ )

Berdasarkan grafik diatas pada Gambar 3, terlihat bahwa kurva kapasitas aksial Tarik izin (*uplift*) mengalami lonjatan yang signifikan seiring dengan bertambahnya diameter tiang. Ketika tiang menerima beban cabut, 2 mekanisme yang bekerja secara bersamaan yakni tahanan geser selimut dan berat tiang itu sendiri. Dalam perhitungan tahanan Tarik (*uplift*) tidak dihitung secara utuh menggunakan berat jenis beton  $24 \text{ kN/m}^3$ , hal ini karena terdapat muka air tanah MAT pada kedalaman 3,5 m sehingga posisi tiang yang berada pada kedalaman 3,5 m kebawah mengalami gaya dorong keatas sesuai dengan hukum Archimedes. Sehingga Panjang tiang yg terendam air yakni 2,5 m direduksi menggunakan berat jenis beton efektif ( $9,81 \text{ kN/m}^3$ ).

**Tabel 6.** Hasil Analisis Perhitungan Daya Dukung Aksial Tarik (*Uplift*) Tiang Kelompok

Tabel Kapasitas Uplift Bored Pile				
Diameter	Tu	TAll	T(g)All	Keterangan
m	kN	kN	kN	
0,4	1303,425	655,851	2623,403	Fondasi Aman
0,6	1973,607	1002,246	4008,983	Fondasi Aman
0,8	2652,833	1357,684	5430,737	Fondasi Aman

Hasil analisis daya dukung aksial ijin tarik (*uplift*) tiang kelompok dengan kedalaman *bored pile* 6 meter didapatkan semua variasi diameter aman terhadap beban uplift sebesar 432,226 kN.

### 3.5 Daya Dukung Lateral Fondasi Bored Pile

Analisis perhitungan daya dukung lateral dilakukan dengan menggunakan metode Reese and Matlock. Hasil analisis ditunjukkan pada Tabel 7. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung lateral menunjukan metode Reese & Matlock diatas, didapatkan bahwa seluruh variasi diameter bored pile aman dalam menahan beban lateral struktur tower sebesar 62,335 kN. Berbeda dengan daya dukung asial yang berbanding lurus dengan luas penampang, daya dukung lateral dipengaruhi oleh kekakuan lentur yakni modulus elastisitas tiang ( $E_p$ ) dan momen inersia tiang ( $I_p$ ). Dengan peningatan dimensi atau diameter tiang, maka kapasitas lateral juga meningkat sesuai dengan teori yang dikemukakan Reese & Matlock.

**Tabel 7.** Hasil Analisis Daya Dukung Lateral Metode Reese & Matlock

Daya Dukung Lateral (Asumsi $Y_x = 12$ mm)			Keterangan
Diameter (m)	Tiang Tunggal (kN)	Tiang Kelompok (kN)	
0,4	45,658	76,7062	<b>Fondas Aman</b>
0,6	125.285	210,4793	<b>Fondas Aman</b>
0,8	281.678	473,2185	<b>Fondas Aman</b>

### 3.5 Defleksi Fondasi Bored Pile

Perhitungan defleksi tiang *bored pile* menggunakan persamaan dari metode Reese & Matlock dengan gaya lateral ( $Q_g$ ) = 62,355 kN, dan momen ( $M_g$ ) = 4,634 kN.m.

**Tabel 8.** Hasil Analisis Defleksi Metode Reese & Matlock Fondasi *Bored Pile* ( $d = 0,4$  m)

Defleksi ( $y_x$ )						
Z	Z=z/T	$A_y$	$y_A$	$B_y$	$y_B$	$y_x$ (mm)
0	0	2,435	0,006387	1,623	0,000307	6,694731
1	0,97139	0,997477	0,002617	0,388033	7,35E-05	2,690019
1,5	1,457085	0,497476	0,001305	0,08831	1,67E-05	1,321681
2	1,94278	0,154417	0,000405	-0,05856	-1,1E-05	0,393971
2,5	2,428475	-0,08929	-0,00023	-0,07814	-1,5E-05	-0,24901
3	2,91417	-0,05637	-0,00015	-0,08737	-1,7E-05	-0,16442
3,5	3,59608	-0,0601	-0,00013	-0,05264	-8,9E-06	-0,14213
4	4,109805	-0,0455	-0,0001	-0,02493	-4,2E-06	-0,10508
4,5	4,623531	-0,02444	-5,4E-05	-0,01054	-1,8E-06	-0,05595
5	5,137257	-0,009	-2E-05	0	0	-0,01995
5,5	5,650983	-0,009	-2E-05	0,000	0	-0,01995
6	6,164708	-0,009	-2E-05	0	0	-0,01995

**Tabel 9.** Hasil Analisis Defleksi Metode Reese & Matlock Fondasi *Bored Pile* ( $d = 0,6$  m)

Defleksi ( $y_x$ )						
Z	Z=z/T	$A_y$	$y_A$	$B_y$	$y_B$	$y_x$ (mm)
0	0	2,435	0,002052	1,623	8,4E-05	2,136399
1	0,825956	1,182257	0,000997	0,51612	2,67E-05	1,023211
1,5	1,238934	0,700234	0,00059	0,201391	1,04E-05	0,600637
2	1,651913	0,346219	0,000292	0,013686	7,08E-07	0,292531
2,5	2,064891	0,127919	0,000108	-0,07123	-3,7E-06	0,104135
3	2,477869	0,038302	3,23E-05	-0,07908	-4,1E-06	0,028193
3,5	3,057686	-0,07356	-5,2E-05	-0,08548	-4E-06	-0,05635
4	3,494498	-0,06264	-4,5E-05	-0,05884	-2,7E-06	-0,04734
4,5	3,93131	-0,05172	-3,7E-05	-0,03219	-1,5E-06	-0,03833
5	4,368122	-0,03491	-2,5E-05	-0,01769	-8,2E-07	-0,02568
5,5	4,804934	-0,017	-1,2E-05	-0,00546	-2,5E-07	-0,01236
6	5,241747	-0,009	-6,4E-06	0	0	-0,00641

**Tabel 10.** Hasil Analisis Defleksi Metode Reese & Matlock Fondasi *Bored Pile* ( $d = 0,8$  m)

Defleksi ( $y_x$ )						
Z	Z=z/T	$A_y$	$y_A$	$B_y$	$y_B$	$y_x$ (mm)
0	0	2,435	0,000917	1,623	0,00045	1,367177
1	0,736176	1,303439	0,000491	0,605101	0,000168	0,658727
1,5	1,104264	0,845225	0,000318	0,290494	8,05E-05	0,398905
2	1,472352	0,432966	0,000163	0,081974	2,27E-05	0,185808
2,5	1,84044	0,225769	8,5E-05	-0,22851	-6,3E-05	0,021675
3	2,208528	0,09675	3,64E-05	-0,07396	-2,1E-05	0,015933
3,5	2,725319	-0,01539	-4,9E-06	-0,08378	-2,1E-05	-0,02567
4	3,11465	-0,07213	-2,3E-05	-0,08201	-2E-05	-0,04329
4,5	3,503981	-0,0624	-2E-05	-0,05826	-1,4E-05	-0,0343
5	3,893313	-0,05267	-1,7E-05	-0,03451	-8,6E-06	-0,02532
5,5	4,282644	-0,03841	-1,2E-05	-0,02009	-5E-06	-0,0172
6	4,671975	-0,02245	-7,1E-06	-0,00918	-2,3E-06	-0,00942

Berdasarkan hasil analisis pada defleksi tiang *bored pile*, hasil analisis menunjukkan pergeseran horizontal maksimum sebesar 6,695 mm pada ujung atas pile cap ( $Z = 0$ ) dengan diameter 0,4 m dikarenakan bagian atas tiang menerima beban secara langsung sedangkan bagian

bawah tiang tertahan oleh reaksi tanah serta semakin besar diameter tiang, nilai defleksi yang terjadi semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kekakuan struktur tiang, Panjang tiang, dan distribusi beban lateral, sehingga mampu menahan deformasi lateral dengan lebih baik hal ini sesuai dengan teori elastisitas serta metode Reese and Matlock. Nilai defleksi yang diperoleh masih berada di bawah batas izin 12 mm (SNI 846:2017), sehingga struktur dinyatakan aman terhadap deformasi lateral.

### 3.5 Penurunan Fondasi Bored Pile

Perhitungan analisis penurunan pada penelitian menggunakan metode Vesic (1977) dan menggunakan *software* Settle3D.

#### 3.5.1 Penurunan Fondasi Bored Pile berdasarkan Metode Vesic (1977)

**Tabel 11.** Penurunan *Bored Pile* berdasarkan Metode Vesic (1977) untuk Daya Dukung Tiang menggunakan Metode DeRuiter-Beringen

Tabel Penurunan Tiang dengan metode Vesic (1977)						
Diameter	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>	Tunggal	Kelompok	Kontrol
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
0,4 m	0,408	2,844	0,043	3,295	6,164	Fondasi Aman
0,6 m	0,182	1,924	0,035	2,142	4,007	Fondasi Aman
0,8 m	0,101	1,368	0,047	1,516	2,837	Fondasi Aman

**Tabel 12.** Penurunan *Bored Pile* berdasarkan Metode Vesic (1977) untuk Daya Dukung Tiang menggunakan Metode Schmertmann

Tabel Penurunan Tiang dengan metode Vesic (1977)						
Diameter	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>	Tunggal	Kelompok	Kontrol
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
0,4 m	0,362	1,779	0,153	2,294	4,292	Fondasi Aman
0,6 m	0,169	1,484	0,099	1,752	3,278	Fondasi Aman
0,8 m	0,098	1,237	0,071	1,406	2,631	Fondasi Aman

**Tabel 13.** Penurunan *Bored Pile* berdasarkan Metode Vesic (1977) untuk Daya Dukung Tiang menggunakan ENSOFT Shaft

Tabel Penurunan Tiang dengan metode Vesic (1977)						
Diameter	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>	Tunggal	Kelompok	Kontrol
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
0,4 m	0,383	2,279	0,100	2,762	5,167	Fondasi Aman
0,6 m	0,175	1,687	1,687	1,931	3,612	Fondasi Aman
0,8 m	0,099	1,311	0,057	1,468	2,746	Fondasi Aman

#### 3.5.2 Penurunan Fondasi Bored Pile dengan Settle3D

Selain perhitungan analisis penurunan fondasi *bored pile* menggunakan metode Vesic (1977), juga dilakukan analisis penurunan dengan menggunakan *software* Settle 3D.

**Tabel 14.** Hasil Analisis Penurunan *Bored Pile* Menggunakan Settle3D

Diameter	Pressure	Rectangle	Total Settlement	Kontrol
m	Kpa	m	mm	
0.4	95.09704142	2,6 x 2,6	5.52	Fondasi Aman
0.6	51.59868508	3,9 x 3,9	3.45	Fondasi Aman
0.8	36.37426036	5,2 x 5,2	2.63	Fondasi Aman

Berdasarkan analisis deformasi tiang pada kelompok fondasi *bored pile* tower transmisi T.180, diperoleh hasil bahwa nilai penurunan yang terjadi sangatlah kecil dan berada jauh di bawah batas toleransi yang diizinkan yakni  $10\% \times \text{Diameter}$ . Kecilnya nilai penurunan fondasi ini dikarenakan berdasarkan data Sondir, lapisan tanah dominan berupa pasir padat (*dense sand*) dan dasar ujung tiang pada kedalaman 6 m berada pada lapisan pasir sangat padat ( $q_c > 140 \text{ kg/cm}^2$ ). Perilaku mekanika tanah pasir adalah mengalami penurunan segera (*immediate/elastic settlement*) saat beban bekerja, tanpa mengalami penurunan konsolidasi jangka panjang seperti halnya pada tanah lempung lunak. Begitu masa konstruksi *tower* selesai, penurunan fondasi praktis akan berhenti, sehingga risiko terjadinya deformasi lanjutan di masa depan sangatlah minim.

Selisih hasil antara metode Vesic dan Settle 3D yakni dari perbedaan cara mendistribusikan tegangan. Metode manual Vesic menghitung penurunan dengan menjumlahkan tiga komponen yakni deformasi elastis bahan tiang, penurunan akibat beban di ujung tiang, dan penurunan akibat transfer beban di selimut tiang. Sedangkan *software* Settle 3D menghitung penurunan fondasi *bored pile* dengan menyederhanakan tiang menjadi beban merata pada area pile cap, yang selanjutnya dianggap bekerja pada kedalaman sekitar  $2/3$  panjang tiang. Selanjutnya *software* menghitung penyebaran tegangan kedalam tanah, menentukan regangan tiap lapisan berdasarkan jenis dan sifat tanah, kemudian menjumlahkan keduanya menjadi total penurunan.

### 3.6 Kontrol Terhadap Guling (*overturning*) dan Geser (*Sliding*)

**Tabel 15.** Kontrol Terhadap Guling (*Overturning*) Diameter 0,4 m

Kontrol Terhadap Guling ( <i>Overturning</i> ) 0,4 m				
No.Fondasi	$M_{\text{tahan}}$	$M_{\text{guling}}$	$\frac{M_{\text{tahan}}}{M_{\text{guling}}}$	Kontrol
	kNm	kNm		$\geq 1,5$
2365	688,367	43,649	15,771	FONDASI AMAN
2366	408,548	43,363	9,422	FONDASI AMAN
2367	140,998	19,659	7,172	FONDASI AMAN
2368	207,770	149,668	1,388	FONDASI TIDAK AMAN

**Tabel 16.** Kontrol Terhadap Guling (*Overturning*) Diameter 0,6 m

Kontrol Terhadap Guling ( <i>Overturning</i> ) 0,6 m				
No.Fondasi	$M_{\text{tahan}}$	$M_{\text{guling}}$	$\frac{M_{\text{tahan}}}{M_{\text{guling}}}$	Kontrol
	kNm	kNm		$\geq 1,5$
2365	305,941	43,649	7,009	FONDASI AMAN
2366	1169,244	87,938	13,296	FONDASI AMAN
2367	62,666	19,659	3,188	FONDASI AMAN
2368	346,988	173,131	2,004	FONDASI AMAN

**Tabel 17.** Kontrol Terhadap Guling (*overturning*) Diameter 0,8 m

Kontrol Terhadap Guling (Overturning) 0,8 m				
No.Fondasi	$M_{tahan}$	$M_{guling}$	$\frac{M_{tahan}}{M_{guling}}$	Kontrol $\geq 1,5$
	kNm	kNm		
2365	172,092	43,649	3,943	FONDASI AMAN
2366	3212,923	87,938	36,536	FONDASI AMAN
2367	35,250	19,659	1,793	FONDASI AMAN
2368	2116,581	149,668	14,142	FONDASI AMAN

Dari hasil analisis kontrol stabilitas guling (*overturning*) dengan membandingkan momen tahanan ( $M_{tahan}$ ) terhadap momen guling ( $M_{guling}$ ) menggunakan faktor keamanan minimal 1,5 sesuai SPLN T5.008-2021. Hasil menunjukkan bahwa untuk diameter 0,4 m pada titik fondasi 2368 yang mengalami tarik, rasio  $M_{tahan}/M_{guling} = 1,388 < 1,5$  sehingga fondasi tidak aman terhadap stabilitas guling. Hal ini dikarenakan pada titik fondasi 2368 didominasi pada kondisi uplift ( $F_z = -432,23$  kN). Ketika dimensi fondasi *bored pile* diperbesar menjadi 0,6 m dan 0,8 m, maka berat fondasi serta luas area kontak dengan tanah ikut meningkat secara signifikan sehingga seluruh kaki menara dinyatakan aman dari guling.

**Tabel 18.** Kontrol Terhadap Geser (*Sliding*)

Kontrol Terhadap Geser (sliding)				
Diameter	$F_{tahan}$	$F_{gerak}$	$\frac{F_{tahan}}{F_{gerak}}$	Kontrol $\geq 1,5$
m	kNm	kNm		
0,4	2087,47	62,355	33,4772	FONDASI AMAN
0,6	3400,34	62,355	54,5320	FONDASI AMAN
0,8	4892,63	62,355	78,4642	FONDASI AMAN

Dari hasil perhitungan kontrol geser yakni membandingkan rasio gaya tahanan ( $F_{tahan}$ ) terhadap gaya geser ( $F_{gerak}$ ) dengan  $FS \geq 1,5$ , di didapatkan semua variasi diameter (0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m) aman terhadap geser.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis daya dukung fondasi bored pile kelompok pada Tower T.180 jalur transmisi 150 kV di Donggala, Sulawesi Tengah, dapat disimpulkan bahwa kapasitas aksial bored pile dengan diameter 0,4 m, 0,6 m, dan 0,8 m menunjukkan hasil yang bervariasi tergantung metode yang digunakan. Metode De Ruiters & Beringen dan Schmertmann menunjukkan seluruh variasi diameter aman, sedangkan analisis dengan Ensoft Shaft lebih konservatif dan memperlihatkan bahwa diameter 0,4 m tidak memenuhi syarat karena kapasitas izin lebih kecil dari beban aksial rencana. Kapasitas uplift seluruh variasi diameter jauh lebih besar dibandingkan beban tarik rencana, sehingga aman terhadap gaya cabut. Daya dukung lateral dengan metode Reese & Matlock juga menunjukkan seluruh variasi diameter mampu menahan beban lateral struktur atas, dengan kapasitas meningkat seiring bertambahnya diameter. Analisis penurunan menggunakan metode Vesic maupun software Settle3D menghasilkan nilai penurunan yang sangat kecil (2,63–6,16 mm) dan jauh di bawah batas izin, sehingga seluruh variasi diameter aman terhadap kriteria penurunan. Pada kontrol stabilitas eksternal, diameter 0,4 m pada salah satu kaki tower tidak aman terhadap guling, sementara seluruh variasi diameter aman terhadap geser. Dengan demikian, fondasi bored pile dengan diameter minimum 0,6 m direkomendasikan karena memenuhi seluruh kriteria kapasitas aksial, uplift, lateral, penurunan, serta stabilitas eksternal sesuai standar keamanan, sedangkan diameter 0,4 m tidak layak digunakan.

## Referensi

- BSN. 2017. *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Das, B. M. (Ed.). (2021). *Geotechnical Engineering handbook*. J. Ross Publishing.
- Derlandia, A. R. 2016. *Perencanaan Fondasi Dan Analisa Stabilitas Tanah Pada Rencana T.534-536 Dan T.540-542 Jalur Transmisi 500 kV Ungaran-Mandirancan II*. Skripsi Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Edwar, B. 2023. *Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Pada Pembangunan Rumah Sakit Regina Maris Medan*. Skripsi Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area. Medan.
- Engineering Systems (EEC) Limited. (2006). *Mstower V6 User's Manual*.
- Gobel, F., Legrans, R. I. R. and Ticoh, H. J. 2024. Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok Pada Pekerjaan Transmisi Line 150 kV PLTS Terapung PT.PJB Masdar Solar Energi. *TEKNO*, Vol. 22, No. 1.
- Hakam, A. 2008. *Rekayasa Fondasi*. CV. Bung Hatta. Padang.
- Jarek, G. K. (2024). *Merencanakan konsep pondasi untuk semua tipe bangunan gedung*. *EDUSCOTECH: Scientific Journal of Education, Social, Economics, and Engineering*, 5(2), 7–19.
- Prilia, R., Manoppo, F. J. and Manaroinsong, L. D. K. 2021. Analisis Fondasi Tiang Bor Dengan PLAXIS 3D (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fakultas Teknik Unsrat Jurusan Sipil). *TEKNO*, Vol. 19, No. 1.
- PT PLN (Persero). 2015. *SPLN T5.008: 2015 PANDUAN DESAIN FONDASI TOWER RANGKA SALURAN UDARA TENAGA LISTRIK BERDASARKAN HASIL UJI PENETRASI KONUS / SONDIR (Cone Penetration Test)*. PT PLN (Persero). Jakarta.
- Putra, A. I., Nugroho, S. A., & Muhshi, M. (2022). Prediksi Penurunan Segera Fondasi Tiang di Wilayah Pekanbaru Berdasarkan Data Sondir. *SIKLUS: Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 111-123. Universitas Riau.
- Reese, L. C., Wang, S. T., Vasquez, L., & Arrellaga, J. A. (2023). *SHAFT v2023 – Technical Manual: A Program for the Study of Drilled Shafts under Axial Loads*. Austin, Texas: ENSOFT, INC.
- Reese, L. C., Wang, S. T., Vasquez, L., & Arrellaga, J. A. (2023). *SHAFT v2023 – User's Manual: A Program for the Study of Drilled Shafts & CFA Piles under Axial Loads*. Austin, Texas: ENSOFT, INC.
- Tumembow, G. P. A., Rondonuwu, S. G. and Sarajar, A. N. 2025. Analisis Daya Dukung *Bored Pile* Pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Kejaksaan Tinggi Tahap II Kota Manado. *TEKNO*, Vol. 23, No. 1.
- Yusa, M., & Nugroho, S. A. (2007). Korelasi Penentuan Daya Dukung Tiang Cara Empirik (CPT) dengan Pile Driven Analysis (PDA) di Kota Pekanbaru. *Media Teknik Sipil*, Januari 2007. Universitas Riau.