



Studi Kapasitas Fondasi Tiang Bor (Bored Pile) Pada Abutment 2 Jembatan Boulevard II

Felina M. Lianto^{#a}, Roski R. I. Legrans^{#b}, Jack H. Ticoh^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^afelinamlianto@gmail.com, ^blegransroski1@unsrat.ac.id, ^cjack.ticoh@unsrat.ac.id

Abstrak

Jembatan Boulevard II Manado adalah jembatan tipe beam bridge dengan bentang 75 meter. Jembatan tipe ini menggunakan abutment yang berfungsi untuk mendukung atau memikul beban bangunan di atasnya. Jenis fondasi yang digunakan pada abutment Jembatan Boulevard II adalah kelompok fondasi tiang bor. Untuk memastikan kapasitas fondasi, dilakukan analisis daya dukung aksial dan lateral akibat beban struktur atas serta deformasi aksial dan lateral. Analisis dilakukan menggunakan metode analitik (Meyerhof, Resse-Wright, Broms, Vesic, Poulos-Mates-Davis) dan metode numerik (PLAXIS 3D). Data yang digunakan dalam analisis adalah data sekunder berupa data N-SPT. Parameter kuat geser dan kekakuan tanah diperoleh berdasarkan korelasi dari nilai N-SPT. Analisis menggunakan metode analitik menghasilkan daya dukung aksial (Q_g) sebesar 229681 kN (Meyerhof) dan 164798 kN (Resse-Wright). Daya dukung lateral (H_g) sebesar 3372 kN (Broms) dengan deformasi lateral (y_0) sebesar 43 mm. Penurunan kelompok tiang (S_g) adalah 122 mm (Vesic) dan 161 mm (Poulos-Mates-Davis). Analisis menggunakan metode numerik (PLAXIS 3D) menghasilkan daya dukung aksial (Q_g) sebesar 110193 kN, daya dukung lateral (H_g) sebesar 3330 kN, deformasi lateral (y_0) sebesar 24 mm dan penurunan kelompok tiang (S_g) sebesar 113 mm.

Kata kunci: Jembatan Boulevard II, abutment, fondasi tiang bor

1. Pendahuluan

Hal yang penting dalam perancangan fondasi adalah pengetahuan tentang beban yang bekerja pada fondasi serta jenis dan sifat tanah di lokasi konstruksi, sehingga dapat dihitung kapasitas fondasi yang memenuhi persyaratan. Apabila fondasi yang direncanakan tidak mampu memikul beban struktur atas, maka akan terjadi penurunan berlebihan pada lapisan tanah dibawah fondasi yang berakibat pada keruntuhan struktur atas.

Jembatan Boulevard II adalah jembatan yang memiliki bentang 75 dan menggunakan fondasi tiang jenis tiang bor (bored pile). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung (aksial dan lateral) serta deformasi (vertical dan horizontal) fondasi tiang bor tunggal dan kelompok pada abutment 2 Jembatan Boulevard II. Analisis dilakukan menggunakan metode analitik dan metode numerik. Metode analitik yang digunakan adalah metode Meyerhof dan metode Resse-Wright untuk analisis aksial, metode Broms untuk analisis lateral dan metode Vesic dan metode Poulos-Mates-Davis untuk analisis deformasi. Analisis numerik menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS 3D. Data yang digunakan dalam proses analisis adalah data sekunder yang terdiri atas data hasil uji SPT dan rencana abutment 2 Jembatan Boulevard II.

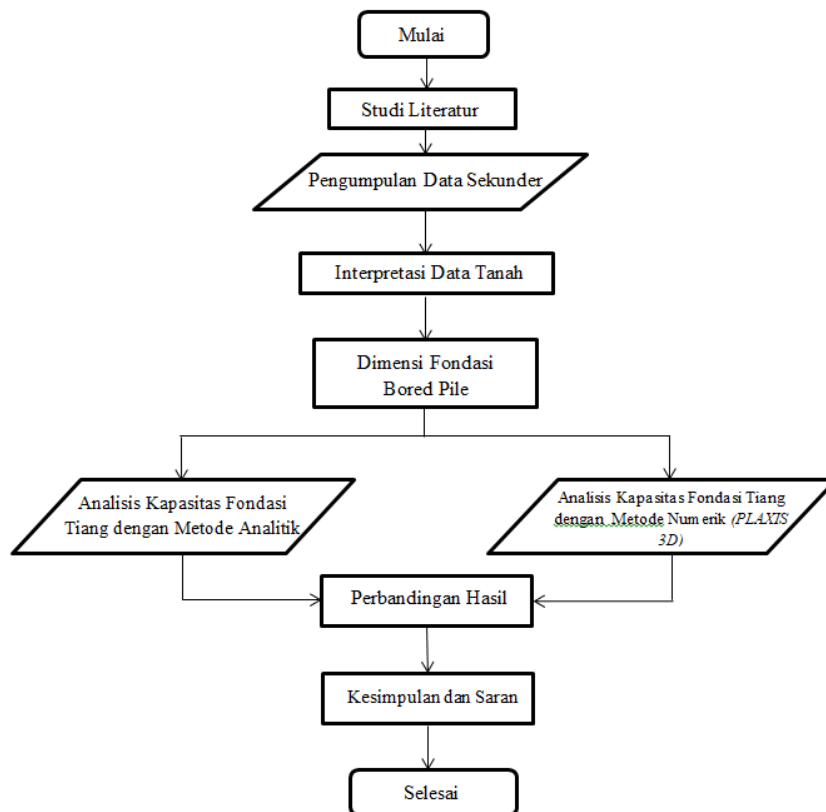
2. Tahapan Analisis

Kegiatan penelitian diawali dengan survey lokasi Jembatan Boulevard II dan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam proses analisis berupa data sekunder. Data sekunder diperoleh dari

pelaksana pekerjaan konstruksi yakni PT. Pasifik Nusa Indah. Tahap analisis dimulai dari kegiatan studi literatur untuk menambah pengetahuan tentang metode analisis yang akan digunakan. Data sekunder yang berupa nilai N-SPT pada lokasi konstruksi dikorelasikan terhadap parameter yang dibutuhkan dalam metode analitik dan metode numerik.



Gambar 1. Lokasi Jembatan Boulevard II
(Sumber: Google Earth, 2023)



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Berikut ini adalah tahap analisis fondasi tiang bor.

- **Tahap 1** : menghitung kapasitas daya dukung aksial single pile menggunakan metode Meyerhof (1956)

$$Q_u = (4 \cdot N_p \cdot A_p) + \frac{1}{100} \bar{N} \cdot A_s \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

dan Reese Wright (1977)

$$Q_u = A_p(q_p) \cdot \sum \pi D \Delta L(q_s) \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

- **Tahap 2** : menghitung kapasitas daya dukung lateral single pile menggunakan metode *Broms, 1964* diawali dengan pengecekan perilaku tiang

$$K_r = \frac{E_p I_p}{E_h L^4} \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

$K_r \geq 0,01$... Tiang pendek (kaku)

$K_r \leq 0,01$... Tiang Panjang (elastis)

kemudian menghitung momen maksimum yang harus ditahan oleh tiang

$$M_{maks} = \frac{2}{3} H_u L = \gamma d L^3 K_p \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

lalu menghitung momen lentur tiang.

$$M_y = S_x \times F_y \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

Setelah mendapatkan angka tersebut dimasukkan kedalam persamaan berikut.

$$H_u = \frac{2My}{e + \frac{2f}{3}} \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

- **Tahap 3** : menghitung kapasitas daya dukung aksial kelompok tiang menggunakan faktor efisiensi kelompok tiang dengan metode *Converse-Labarre*

$$Q_{g,ult} = Q_{us} \times n \times \eta \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

$$\eta = 1 - \left\{ \frac{n_1 - 1}{90 n_1 n_2} \right\} \theta \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

- **Tahap 4** : menghitung kapasitas daya dukung lateral kelompok tiang menggunakan konsep efisiensi grup

$$(H_u)_g = G_e \times n \times H_u \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

Tabel 1. Ge Pada Tanah Nonkohesif

S/B	Ge
3	0.50
4	0.60
5	0.68
6	0.70

(Sumber : Prakars & Sharma, 1990)

- **Tahap 5** : menghitung defleksi tiang menggunakan metode *Broms, 1964*

$$y = \frac{0,93 \times H_u}{(n_h)^{\frac{3}{5}} \times (E_p \times I_p)^{\frac{2}{5}}} \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

- **Tahap 6** : menghitung penurunan tiang menggunakan metode *Vesic, 1977*

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi \times Q_{ws}) \times L}{A_p \times E_p} \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} \times D}{E_s} (1 - \mu^2) I_{wp} \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu^2) I_{ws} \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition})$$

juga menggunakan metode *Poulos, Mattes & Davis, 1980*

$$S = \frac{QI}{E_s d} \quad (\text{sumber : Pile Foundation Analysis and Design})$$

Dengan I:

$$\text{Floating Pile: } I = I_o \times R_k \times R_h \times R_v \quad (\text{sumber : Pile Foundation Analysis and Design})$$

$$\text{End Bearing Pile: } I = I_o \times R_b \times R_h \times R_v \quad (\text{sumber : Pile Foundation Analysis and Design})$$

Kemudian dari penurunan tiang tunggal yang didapatkan, dihitung untuk penurunan tiang kelompoknya menggunakan persamaan

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} \times S_e$$

(sumber : Principles of Foundation Engineering 9th edition)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Koreksi Data SPT dan Korelasi Parameter Tanah

Nilai SPT yang didapatkan diolah kemudian digunakan pada perhitungan-perhitungan selanjutnya. Hasil koreksi data SPT dan korelasi parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Koreksi Data SPT dan Korelasi Parameter Tanah

SEGMENT	Depth	Description Soil	N-SPT	Thickness	N ₆₀	Es	φ	γ	
	(m)			(m)		kPa	°	(kN/m ³)	
1	0,000	SAND, CORAL, CLAYED	12	2	9,96	22091,63	32	17,00	
	1,000								
	2,000								
2	3,000		26	2	21,58	35693,14	38	18,16	
	4,000								
3	5,000		30	2	24,90	38340,58	39	18,49	
	6,000								
4	7,000		GRAVELY, SAND, CORAL	32	2	26,56	39597,98	40	18,66
	8,000								
5	9,000	31		2	25,73	38974,35	39	18,57	
	10,000								
6	11,000	46		2	38,18	47476,31	43	19,82	
	12,000								
7	13,000	46		2	38,18	47476,31	43	19,82	
	14,000								
8	15,000	SAND CORALY		45	2	37,35	46957,43	43	19,74
	16,000								
9	17,000			47	2	39,01	47989,58	44	19,90
	18,000								
10	19,000			47	2	39,01	47989,58	44	19,90
	20,000								
11	21,000			51	2	42,33	49990,00	45	20,233
	22,000								
12	23,000		GRAVELY, CORAL, SAND	54	2	44,82	46863,42	45	20,482
	24,000								
13	25,000			57	2	47,31	48147,59	46	20,731
	26,000								
14	27,000	58		2	48,14	48568,10	46	20,814	
	28,000								
15	29,000	60		2	49,80	49398,381	47	20,980	
	30,000								

3.2. Perhitungan Kapasitas Aksial Tiang Tunggal

Resume hasil perhitungan kapasitas aksial tiang tunggal yang menggunakan metode Meyerhof dan metode Resse-Wright untuk panjang tiang yang direncanakan, L = 20 m ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Kapasitas Aksial Tiang Tunggal

Metode	Qs		Qp		Qult		Qall (FK = 2,5)	
	ton	kN	ton	kN	ton	kN	ton	kN
Meyerhof (1956)	597,86	5863,06	864,00	8472,99	1001,90	9825,25	400,76	3930,10
Reese & Wright (1977)	574,91	5637,93	168,55	1652,90	718,87	7049,68	287,55	2819,87

3.3. Perhitungan Kapasitas Lateral Single Pile

1. Periksa perilaku tiang

$$K_r = \frac{25742960,20 \times 0,02}{41258,69 \times 20^4} = 0,000072 \text{ m} \leq 0,01$$

Maka tiang disimpulkan sebagai tiang terjepit dengan perilaku tiang panjang terjepit

2. Cek keruntuhan tanah akibat beban lateral

$$M_{maks} = 577768,41 \text{ kN.m}$$

$$M_y = 0,05 \times 3000 = 150,72 \text{ kN.m}$$

Karena $M_{maks} > M_y$, maka tidak terjadi keruntuhan tanah, sehingga gaya lateral ultimit ditentukan oleh kekuatan tiang dalam menahan beban.

3. Cek keruntuhan tiang akibat momen lentur maksimum tiang

Dari momen lentur tiang (M_y) dapat dicek daya dukung lateral (H_u). Dengan f diperoleh :

$$f = 0,096 \sqrt{H_u}$$

$$H_u = 280,98 \text{ kN}$$

3.4. Perhitungan Kapasitas Aksial Kelompok Tiang

Tabel 4 adalah hasil perhitungan kapasitas aksial pada kelompok tiang.

Tabel 4. Perhitungan Kapasitas Aksial Kelompok Tiang

Metode DD AKSIAL	Metode Converse-Labarre	
	Qg.ult	Qg.all
	kN	kN
Meyerhof (1956)	229681,27	91872,51
Reese & Wright (1977)	164797,68	65919,07

3.5. Perhitungan Kapasitas Lateral Kelompok Tiang

$$S/B = \frac{2,50}{0,80} = 3,13 \dots \dots \dots \text{ digunakan nilai } G_e \text{ untuk } S/B \text{ terkecil} = 0,5$$

$$(H_u)_g = 0,5 \times 24 \times 280,98 = 3371,80 \text{ kN}$$

Dengan SF = 2,5, maka:

$$(H_a)_g = \frac{3371,80}{2,5} = 1348,72 \text{ kN}$$

3.6. Perhitungan Defleksi Tiang

Defleksi tiang tunggal :

$$y = \frac{0,93 \times 280,98}{(19400)^{\frac{3}{5}} \times (25742960,20 \times 0,02)^{\frac{2}{5}}} = 0,0036 \text{ m} = 3,62 \text{ mm}$$

Defleksi tiang kelompok :

$$y = \frac{0,93 \times 3371,80}{(19400)^{\frac{3}{5}} \times (25742960,20 \times 0,02)^{\frac{2}{5}}} = 0,043 \text{ m} = 43,47 \text{ mm}$$

3.7. Perhitungan Penurunan Tiang

Menggunakan metode *Vesic, 1977*

$$S_{e(1)} = \frac{(661,16 + 0,5 \times 2255,17) \times 20}{0,5024 \times 25742960,20} = 0,00336 \text{ m} = 3,36 \text{ mm}$$

$$S_{e(2)} = \frac{1316 \times 0,80}{41258,69} (1 - 0,4^2) 85 = 0,01669 \text{ m} = 16,69 \text{ mm}$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{2255,17}{2,512 \times 20} \right) \frac{0,8}{41258,69} (1 - 0,4^2) 3,75 = 0,00251 \text{ m} = 2,51 \text{ mm}$$

$$S_e = 3,36 + 16,69 + 2,51 = 24,32 \text{ mm}$$

Metode *Poulos, Mattes, & Davis, 1980*

Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$I = 0,08 \times 1,30 \times 0,79 \times 0,70 = 0,08$$

$$S = \frac{7049,68 \times 0,07}{41258,69 \times 0,80} = 0,01702 \text{ m} = 17,02 \text{ mm}$$

Untuk tiang dukung ujung

$$I = 0,08 \times 1,30 \times 0,97 \times 0,70 = 0,07$$

$$S = \frac{7049,68 \times 0,07}{41258,69 \times 0,80} = 0,01508 \text{ m} = 15,08 \text{ mm}$$

$$S_{total} = 17,02 + 15,08 = 32,10 \text{ mm}$$

Untuk penurunan tiang kelompok dapat dilihat pada Tabel 5.

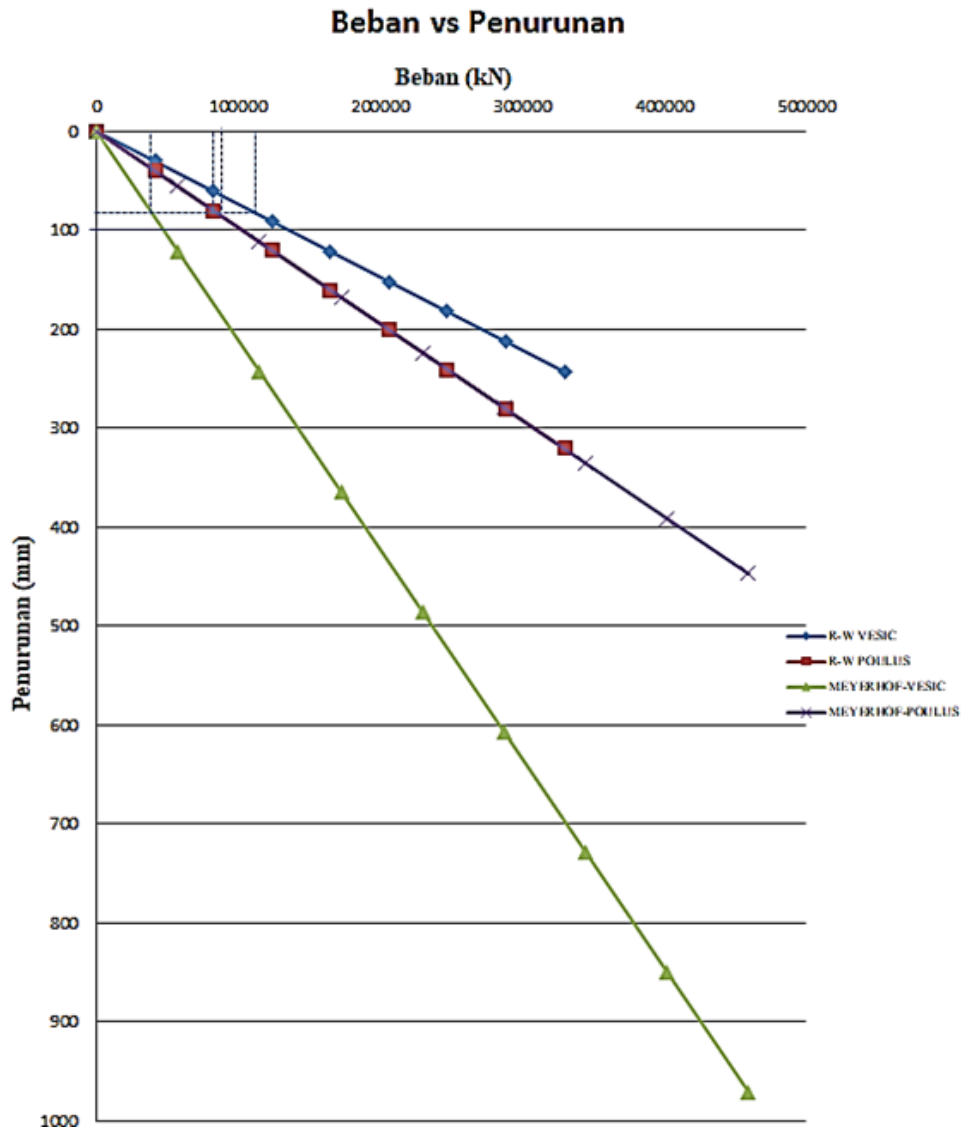
Tabel 5. Penurunan Kelompok Tiang

Metode DD AKSIAL	Sg
	mm
Vesic	121,60
Poulos, Mattes, & Davis	160,52

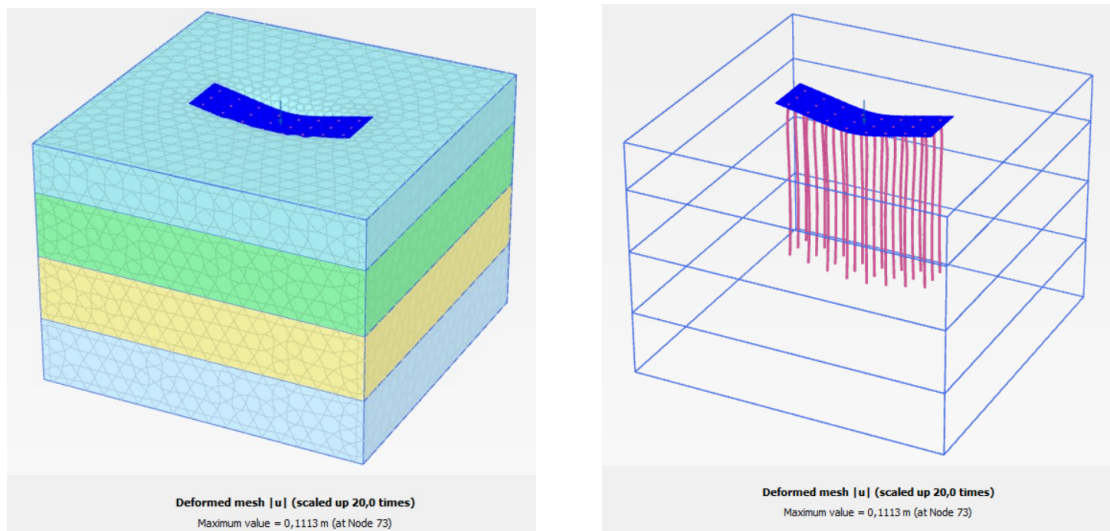
3.8. Perhitungan Kapasitas Tiang Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan Bantuan PLAXIS 3D

Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *PLAXIS 3D*, didapatkan hasil untuk kapasitas aksial grup diambil menurut konsep Terzaghi yaitu daya dukung aksial ultimit menghasilkan penurunan kelompok tiang sebesar 10% dari diameter tiang. Gambar 3 adalah grafik hubungan antara beban dan penurunan dari berbagai metode yang digunakan pada penelitian ini. Diameter fondasi tiang bor adalah 800 mm sehingga 10%D adalah 80 mm. Berdasarkan grafik tersebut, diambil daya dukung ultimit tiang sebesar 110193,01 kN dan daya dukung ijin tiang sebesar 44077,20 kN. Untuk penurunan tanah diambil pada kondisi pembebanan 100% dan diperoleh sebesar 0,1113 m = 113 mm.

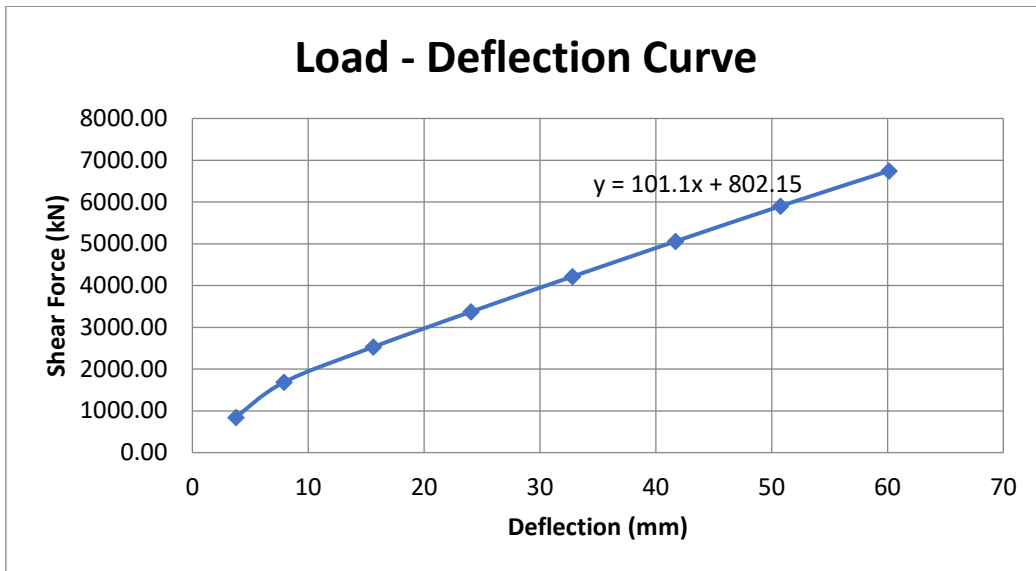
Daya dukung ultimit lateral kelompok tiang diambil dari daya dukung kelompok ketika tiang berada pada kondisi runtuh/ultimit dengan menggunakan kriteria yang diambil dari Pasal 9.8.3 SNI 8460-2017, yaitu batasan pergeseran di kepala tiang pada pembebanan 200% pembebanan rencana ialah 25 mm. Didapatkan untuk daya dukung ultimit tiang sebesar 3329,65 kN dan untuk daya dukung ijin tiang sebesar 1331,86 kN. Defleksi pada pilecap pada kondisi pembebanan 100% adalah 0,02404 m atau 24,04 mm.



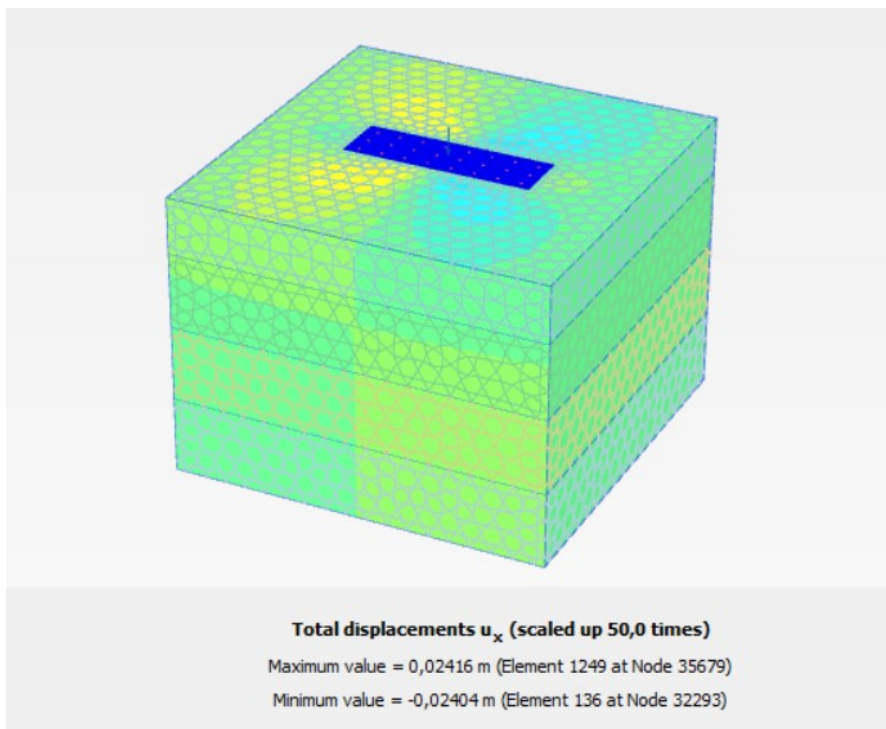
Gambar 3. PLAXIS 3D : Kurva Beban – Penurunan



Gambar 4. PLAXIS 3D : Penurunan Tanah



Gambar 5. PLAXIS 3D : Kurva Beban – Defleksi



Gambar 6. PLAXIS 3D : Defleksi Tiang

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dengan metode analitik dan metode numerik dengan bantuan PLAXIS 3D, maka dapat dibuat rangkuman hasil perhitungan sebagai berikut.

Tabel 6. Resume Kapasitas Aksial Tiang Kelompok

PLAXIS 3D	Meyerhof, 1956
	Metode Converse-Labare
110193,01	229681,27
	Reese & Wright, 1977
	Metode Converse-Labare
	164797,68

Tabel 7. Resume Kapasitas Lateral Tiang Kelompok

DD Lateral	Broms	PLAXIS 3D
	kN	kN
Ultimit	3371,80	3329,65
Ijin	1348,72	1331,86

Tabel 8. Resume Defleksi Pada *Pilecap*

Defleksi (mm)	
Broms	PLAXIS 3D
43,47	24,04

Tabel 9. Resume Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan (mm)		
PLAXIS 3D	Reese Wright, 1977	
	Vesic, 1969	Poulos, Mattes, & Davis, 1980
113,00	121,60	160,5185202
	Meyerhof, 1956	
	Vesic, 1969	Poulos, Mattes, & Davis, 1980
	485,67	223,72

4. Kesimpulan

1. Kapasitas aksial fondasi tiang bor dengan metode analitik dengan metode Reese & Wright (1977) sebesar 164797,68 kN dan metode Meyerhof (1956) sebesar 229681,27 kN. Untuk kapasitas lateral menggunakan metode Broms (1964) sebesar 3371,80 kN dan defleksi lateralnya sebesar 43,47 mm. Penurunan tiang kelompok yang diperkirakan akan dialami tiang menggunakan metode Vesic (1969) diperoleh sebesar 121,60 mm dan untuk metode Poulos, Mattes, & Davis sebesar 160,52 mm.
2. Kapasitas fondasi tiang bor metode numerik dengan menggunakan bantuan *PLAXIS 3D* didapati untuk kapasitas aksial sebesar 110193,01 kN dan kapasitas lateral sebesar 3329,65 kN. Defleksi lateralnya sebesar 24,04 mm serta penurunan kelompok tiang sebesar 113 mm.

Referensi

- Bowles, Joseph. E. 1997. *Foundation Analysis and Design Fifth Edition*. The McGraw-Hill Companies, Inc. Singapur.
- Broms, B. 1964a. *The Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soil*, Journal of the Soil Mechanics Divisions, ASCE, Vol. 90, No. SM3, pp.27-63.
- Broms, B. 1964b. *The Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soil*, Journal of the Soil Mechanics Divisions, ASCE, Vol. 90, No. SM2, pp.123-156.
- Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Das, B. M., Sivakugan, N., 2017. *Principles of Foundation Engineering Ninth Edition*. Cengage Learning INC. USA
- Harsanto C., Manoppo F. J, Sumampouw J. E. R., 2015. *Analisis Daya Dukung Tiang Bor (Bored Pile) pada Struktur Pylon Jembatan Soekarno dengan PLAXIS 3D*, Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.5 No.2, September 2015 (345-35) ISSN: 287-9334, Universitas Sam Ratulangi. Manado
- Lapian, T.J., Manoppo, F. J., Ticoh, J.H., 2015., *Studi Perbandingan Desain Fondasi Rakit Dengan Fondasi Tiang Bor Pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi*, Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.5 No.2, September 2015 (345-35) ISSN: 287-9334, Universitas Sam Ratulangi. Manado
- Prilia, Ribka. 2021. *Analisis Fondasi Tiang Bor Dengan PLAXIS 3D (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fakultas Teknik UNSRAT Jurusan Sipil)*. Skripsi Program S1 Teknik sipil Universitas Sam Ratulangi. Manado.

- Thedy. 2016. *Studi Desain Fondasi Tiang Bor dan Diaphragm Wall Gedung World Financial Tower Lingkar Mega Kuningan Jakarta Selatan*. Skripsi Program S1 Teknik sipil Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Poulos, H. G., Davis, E.H., 1980. *Pile Foundation Analysis and Design*. Rainbow-Bride Book Co. Sidney
- Lymon, C. R., Isenhower, W.M., Wang, S.T., 2006. *Analysis and Design of Shallow and Deep Foundations*. John Wiley & Sons,INC. Sidney
- Rahardjo, P. P. (2000). *Manual Pondasi Tiang*. Program Pasca Sarjana Teknik Sipil, Universitas Khatolik Parahyangan
- Schweiger, H., Gens, A., Lee, S.W., Cheuk, J., Cheang, W. 2012. *Advanced Computational Geotechnics*. Plaxis AsiaPac Pte Ltd. Hongkong
- Sopian. *Analisis Daya Dukung Tiang Bor Berdasarkan Standard Penetration Test (SPT) dan Hasil Reaction Pile*, Jurnal Ilmiah Vol. 7 No.2, Desember 2017 ISSN2088-5407, Universitas Muhammadiyah, Sukabumi.
- SNI 8460:2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia
- Susantyo, C., Manoppo, F. J., Manaroinson, L. D. K., 2022. *Analisis Tiang Bor Pada Struktur Pylon Jembatan Menggunakan Midas GTS NX*. Skripsi Program S1 Teknik sipil Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Teguh R., Rusbandi, dkk. *Penerapan Aplikasi PLAXIS Pada Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tridinanti Palembang*, Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Fordicate Vol. 1 No.2 , 2022.