



Analisis Fondasi Tiang Bor Dan Fondasi Rakit Di Tanah Berpotensi Likuifaksi (Studi Kasus : Daerah Pinggiran Jembatan Megawati Kota Manado)

Dody Al F. Munsir^{#a}, Fabian J. Manoppo^{#b}, Steeva G. Rondonuwu^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^aodhyalfayed@gmail.com, ^bfabian_jm@unsrat.ac.id, ^csteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id

Abstrak

Salah satu dampak yang disebabkan oleh gempa bumi yaitu likuifaksi. Likuifaksi dapat berpotensi menurunkan nilai daya dukung dan menambah nilai penurunan segera. Analisis zona likuifaksi dilakukan dengan metode simplifikasi NCEER untuk mendapatkan nilai safety of factor (FS). Analisis daya dukung, dan penurunan segera pada fondasi tiang bor dan fondasi rakit dilokasi penelitian dianalisis berdasarkan tanpa pengaruh likuifaksi dan akibat dari likuifaksi. Hasil analisis menunjukkan bahwa lapisan tanah 0 – 5 m mengalami likuifaksi apabila terjadi gempa dengan nilai magnitude yaitu 6,5 – 8,5 Mw. Terjadi kehilangan daya dukung dan bertambahnya nilai penurunan segera pada fondasi tiang bor dan fondasi rakit akibat likuifaksi.

Kata kunci: gempa, likuifaksi, fondasi, tiang bor, rakit

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Manado merupakan ibu kota Sulawesi Utara yang secara geografis termasuk dalam zona seismik (jalur gempa bumi) karena terdapat tiga pertemuan lempeng besar yaitu lempeng euroasia, lempeng pasifik, dan lempeng philipines yang mengakibatkan Kota Manado sering terjadi peristiwa gempa. Peristiwa gempa dapat mengakibatkan dampak primer seperti kenaikan dan penurunan aktivitas tektonik, patahan permukaan, dan guncangan sedangkan dampak sekunder seperti tanah longsor, tsunami, dan likuifaksi. Likuifaksi dapat memberikan dampak terhadap fondasi, karena berpotensi menurunkan daya dukung dan penurunan yang besar sehingga dapat menyebabkan kegagalan pada infrastruktur.

Daerah pinggiran Jembatan Megawati kota Manado dapat berpotensi terjadi likuifaksi, karena daerah tersebut berada di dekat aliran sungai sehingga memiliki muka air tanah yang tinggi, frekuensi gempa yang cukup tinggi, dan berdasarkan data penyelidikan tanah berupa data NSPT pada lokasi tersebut lapisan tanah dasarnya adalah tanah pasir berlempung.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian diatas, maka rumusan masalah yang akan dibahas yaitu besar perbandingan daya dukung tanah pada fondasi tiang bor dan fondasi rakit akibat likuifaksi, dan besar perbandingan pertambahan nilai penurunan segera pada fondasi tiang bor dan fondasi rakit akibat likuifaksi.

1.3. Batasan Masalah

Adapun dalam penyusunan penelitian ini penulis membatasi permasalahan yang ada dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Data penelitian berupa data SPT hasil dari penyelidikan tanah.
2. Tidak menghitung daya dukung lateral
3. Tidak menghitung penurunan konsolidasi
4. Tidak menghitung kebutuhan tulangan fondasi.
5. Tidak menghitung anggaran biaya.
6. Tinjauan analisis fondasi tiang bor dengan kedalaman tiang 12 m.
7. Tinjauan analisis fondasi rakit dengan kedalaman fondasi 1,5 m.
8. Variasi diameter fondasi tiang yaitu 0,6 m, 0,8 m, dan 1 m.
9. Variasi dimensi fondasi rakit yaitu 10x10 m, 15x15 m, dan 20x20 m.

1.4. Tinjauan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung besar perbandingan daya dukung tanah pada fondasi tiang bor dan fondasi rakit akibat likuifaksi.
2. Menghitung besar perbandingan nilai penurunan segera pada fondasi tiang bor dan fondasi rakit akibat likuifaksi.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang sekiranya dapat diperoleh dari penelitian ini diantaranya :

1. Untuk mengetahui besar perbandingan daya dukung tanah pada fondasi tiang bor dan fondasi rakit akibat likuifaksi.
2. Untuk mengetahui besar perbandingan nilai penurunan segera pada fondasi tiang bor dan fondasi rakit akibat likuifaksi.
3. Sebagai referensi pada perencanaan fondasi ditanah likuifaksi.

2. Metode Penelitian

2.1. Uraian Umum

Penelitian ini dilakukan terhadap data sekunder berupa hasil penyelidikan tanah (SPT) dan data gempa di lokasi penelitian yang bertujuan untuk mendapatkan hasil penelitian yang dapat menjawab rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini. Pengaruh zona likuifaksi pada lapisan tanah dianalisis dengan metode Simplifikasi (NCEER). Analisis daya dukung tanah pada fondasi tiang bor menggunakan metode O'Neil dan Reese (1989), dan metode elemen hingga PLAXIS 2D. Sedangkan, analisis daya dukung tanah pada fondasi rakit menggunakan metode Brinch Hansen (1970), dan metode elemen hingga PLAXIS 2D. Analisis penurunan segera pada fondasi tiang bor menggunakan metode Vesic 1977, dan metode elemen hingga PLAXIS 2D. Sedangkan, analisis penurunan segera fondasi rakit menggunakan metode Timonshenko dan Goodier 1951, dan metode elemen hingga PLAXIS 2D. Secara garis besar penelitian tugas akhir ini yaitu membandingkan analisis fondasi tiang bor dan fondasi rakit akibat likuifaksi.

2.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini berada di daerah pinggiran Jembatan Megawati, Kota Manado, Sulawesi Utara.

2.3. Data Penelitian

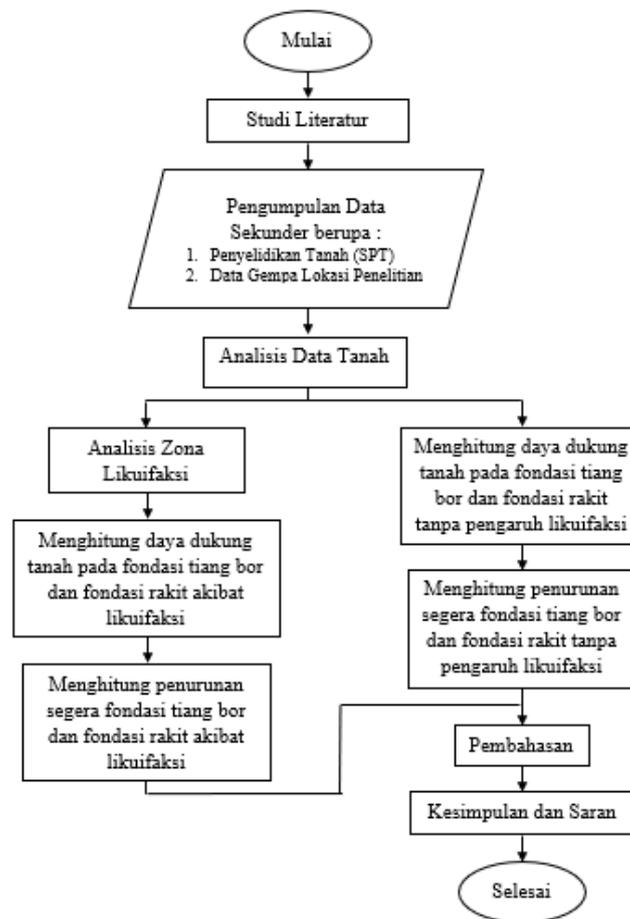
Data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah data sekunder berupa data penyelidikan tanah (SPT), dan data gempa dilokasi penelitian.

2.4. Bagan Alur Penelitian

Bagan alur untuk menunjukkan langkah-langkah dalam proses penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sumber, Google Earth 2023)



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

3. Kajian Literatur

3.1. Analisis Potensi Likuifaksi

Analisis potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan beberapa metode, metode yang paling sering digunakan adalah metode Simplifikasi (NCEER). Metode Simplifikasi (NCEER) adalah metode yang telah disepakati oleh workshop mengenai CRR oleh NCEER pada tahun 1996 dan tahun 1998. Dalam analisis potensi likuifaksi dibutuhkan nilai pegangan untuk mengetahui apakah likuifaksi terjadi atau tidak. Nilai pegangan disebut juga faktor keamanan. Faktor keamanan adalah hasil perbandingan nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) dengan nilai Cyclic Stress Ratio (CSR) dimana dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (1)$$

dimana :

Jika, $FS < 1$ (terjadi likuifaksi)

Jika, $FS = 1$ (kondisi kritis)

Jika, $FS > 1$ (tidak terjadi likuifaksi)

Nilai CRR pada besaran skala gempa (Mw) 7,5 (CRR_{7,5}) dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Idriss and Boulanger, 2008) :

$$CRR_{7,5} = \exp\left(\frac{(N1)60cs}{14,1} + \left(\frac{(N1)60cs}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N1)60cs}{23,6}\right)^3 + \left(\frac{(N1)60cs}{25,4}\right)^4 - 2,8\right) \quad (2)$$

CRR_{MW} merupakan nilai kapasitas tahanan tanah dari tegangan siklik dengan magnitudo gempa selain 7,5 Mw. Nilai tersebut dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Idriss and Boulanger, 2008) :

$$CRR_{MW} = CRR_{7,5} \cdot MSF \cdot K\sigma \quad (3)$$

keterangan :

CRR_{7,5} = tahanan tanah dari tegangan siklik 7,5 Mw

MSF = Magnitude Scaling Factors

K σ = faktor koreksi overburden

Cyclic Stress Ratio merupakan tegangan siklik yang terjadi akibat gempa dibagi dengan tegangan efektif. Nilai CRR dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini (Seed dan Idriss, 1971) :

$$CSR = 0,65 \cdot \left(\frac{amax}{g}\right) \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma'}\right) \cdot r_d \quad (4)$$

keterangan :

amax = akselerasi puncak gempa horizontal

g = percepatan gravitasi

σ = tegangan overburden total

σ' = tegangan vertikal overburden efektif

3.2. Koreksi nilai SPT

Nilai Standart Penetration Test yang didapatkan dilapangan sebelum digunakan terlebih dahulu harus dikoreksi 60% berdasarkan efisiensi dari kalibrasi alat. Nilai SPT yang terkoreksi dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Nm = (N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S) / 0,6 \quad (5)$$

keterangan :

Nm = nilai standart penetration test

C_E = koreksi rasio energy hammer (ER)

C_B = koreksi untuk diameter lubang bor

C_R = faktor koreksi dari panjang batang

C_S = koreksi untuk sampel

3.3. Korelasi Nilai SPT

Data tanah yang diperoleh dari lapangan hanyalah data boring log, oleh sebab itu perlu dilakukan korelasi data NSPT untuk mendapatkan parameter fisis tanah yang dibutuhkan. Terdapat banyak perumusan untuk melakukan korelasi data N-SPT guna mendapatkan parameter fisis tanah, salah satunya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Korelasi nilai Standart Penetration Test (SPT)

Korelasi N-SPT tanah tidak kohesif					
N	0 – 3	4 – 10	11 – 30	31 – 50	> 50
Berat isi, γ (kN/m^3)	–	12 – 16	14 – 18	16 – 20	18 – 23
Sudut geser, ϕ	–	25 – 32	28 – 36	30 – 40	> 35
Keadaan	Sangat lepas	Lepas	Sedang	Padat	Sangat padat
Derajat kepadatan, D_r (%)	0 – 15	15 – 35	35 – 65	65 – 85	85 – 100
Korelasi N-SPT tanah kohesif					
N	< 4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	> 25
Berat isi, γ (kN/m^3)	14 – 18	16 – 18	16 – 18	16 – 20	> 20
q_u (kPa)	< 25	20 – 50	30 – 60	40 – 200	> 100
Konsistensi	Sangat lunak	Lunak	Sedang	Kenyal (<i>Stiff</i>)	Keras

(Sumber, Bowles 1991)

3.4. Fondasi Tiang Bor

Tiang bor dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan dicor beton. Tiang ini biasanya dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran beton (Hardiyatmo, 2008).

3.4.1. Daya dukung fondasi tiang bor

Daya dukung fondasi tiang bor merupakan kemampuan fondasi untuk menahan beban struktur yang bekerja di atasnya. Secara umum kapasitas daya dukung fondasi tiang bor diperoleh dari tahanan dukung ujung tiang dan tahanan dukung gesek selimut tiang. Daya dukung ultimit fondasi tiang bor dengan menggunakan data NSPT dapat dihitung dengan metode O'Neil dan Reese (1989) sebagai berikut :

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (6)$$

keterangan :

- Q_u = daya dukung ultimit (kN)
 Q_b = daya dukung ujung tiang (kN)
 Q_s = daya dukung selimut tiang (kN)
 W_p = berat tiang (kN)

3.4.2. Penurunan segera tiang tunggal pada fondasi tiang bor

Analisis penurunan segera tiang tunggal pada fondasi tiang bor yang diakibatkan oleh beban vertikal (Q_w), dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Das, 2011) :

$$s_e = s_{e(1)} + s_{e(2)} + s_{e(3)} \quad (7)$$

keterangan :

- s_e = penurunan segera
 $s_{e(1)}$ = penurunan elastis tiang
 $s_{e(2)}$ = penurunan tiang yang disebabkan oleh beban diujung tiang
 $s_{e(3)}$ = penurunan tiang yang disebabkan oleh beban disepanjang selimut tiang

3.5. Fondasi Rakit

Fondasi rakit (raft foundation atau mat foundation), didefinisikan sebagai bagian bawah dari struktur yang berbentuk rakit melebar ke seluruh bagian dasar bangunan. Bagian ini berfungsi meneruskan beban bangunan ke tanah di bawahnya. (Hardiyatmo, 2011).

3.5.1. Daya dukung fondasi rakit

Fondasi rakit hanyalah merupakan fondasi yang lebar. Oleh karena itu, hitungan-hitungan kapasitas dukung, sama seperti hitungan kapasitas dukung fondasi telapak (Hardiyatmo, 2011). Kapasitas dukung fondasi rakit dapat dihitung dengan persamaan Brinch Hansen (1970) sebagai berikut :

$$q_u = s_c d_c i_c b_c g_c c N_c + s_q d_q i_q b_q g_q P_o N_q + s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma \frac{1}{2} B' \gamma N_\gamma \quad (8)$$

keterangan :

q_u	= daya dukung fondasi rakit
γ	= berat volume tanah (kN/m ³)
c	= kohesi tanah (kN/m ²)
P_o	= $D_f \gamma$ = tekanan overburden di dasar fondasi (kN/m ²)
s_c, s_q, s_γ	= faktor-faktor bentuk fondasi
d_c, d_q, d_γ	= faktor-faktor kedalaman fondasi
i_c, i_q, i_γ	= faktor-faktor kemiringan beban
b_c, b_q, b_γ	= faktor-faktor kemiringan dasar
g_c, g_q, g_γ	= faktor-faktor kemiringan permukaan
N_c, N_q, N_γ	= faktor-faktor kapasitas dukung Hansen

3.5.2. Penurunan segera fondasi rakit

Penurunan segera atau penurunan elastis adalah penurunan yang dihasilkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan, dan terjadi pada volume konstan (Hardiyatmo, 2011). Persamaan penurunan segera atau penurunan elastis dari fondasi yang terletak di permukaan tanah yang homogen, elastis, isotropik, pada media semi tak terhingga dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$S_i = \frac{q \cdot B}{E} (1 - \mu^2) I_p \quad (9)$$

keterangan :

S_i	= penurunan segera (m)
q	= tekanan pada dasar fondasi (kN/m ²)
B	= lebar fondasi (m)
E	= modulus elastis tanah
μ	= rasio poisson
I_p	= faktor pengaruh

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisis Potensi Zona Likuifaksi

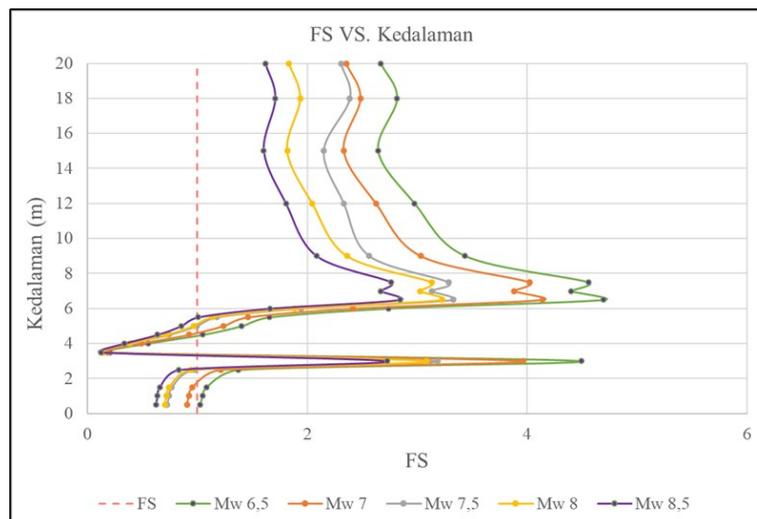
Nilai safety factor (FC) dengan variasi magnitude (M_w) yang menyatakan kondisi potensi zona likuifaksi pada masing-masing lapisan kedalaman tanah dilokasi penelitian tugas akhir dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Nilai Safety Factor (FS) Dengan Variasi Magnitude (Mw)

Depth (m)	FS				
	6,5	7	7,5	8	8,5
0,5	1,024	0,904	0,726	0,704	0,621
1,0	1,045	0,922	0,741	0,718	0,634
1,5	1,082	0,955	0,767	0,744	0,657
2,5	1,372	1,211	0,973	0,943	0,832
3,0	4,491	3,963	3,184	3,087	2,724
3,5	0,204	0,180	0,145	0,140	0,124
4,0	0,553	0,488	0,395	0,380	0,336
4,5	1,046	0,923	0,741	0,719	0,634
5,0	1,404	1,239	0,995	0,965	0,851
5,5	1,656	1,461	1,174	1,138	1,004
6,0	2,739	2,417	1,942	1,882	1,661
6,5	4,692	4,140	3,327	3,225	2,846
7,0	4,401	3,884	3,134	3,025	2,669
7,5	4,556	4,020	3,283	3,131	2,763
9,0	3,436	3,032	2,564	2,362	2,084
12	2,975	2,626	2,332	2,045	1,805
15	2,644	2,333	2,149	1,817	1,603
18	2,815	2,484	2,387	1,935	1,707
20	2,667	2,353	2,305	1,833	1,617

keterangan :

- = Kondisi Terjadi Likuifaksi
- = Kondisi Kritis
- = Kondisi Tidak terjadi Likuifaksi

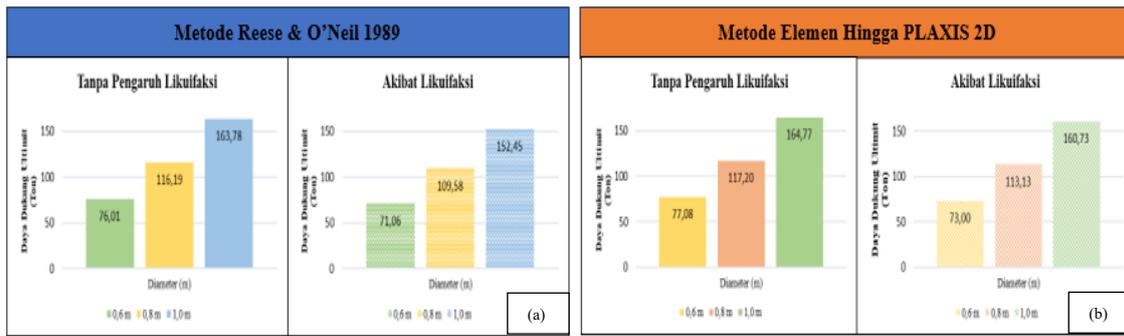
**Gambar 3.** Grafik Hubungan Antara Safety Factor (FS) VS. Kedalaman

4.2. Analisis Fondasi Tiang Bor dan Fondasi Rakit

Analisis fondasi tiang bor dan fondasi rakit ditinjau dari terlikuifaksi di lokasi penelitian, didapatkan nilai kehilangan daya dukung dan besaran penurunan segera pada kedua jenis fondasi tersebut.

4.2.1. Fondasi tiang bor

Analisis daya dukung pada fondasi tiang bor berdasarkan metode Reese & O'Neil 1989 dan metode elemen hingga PLAXIS 2D tanpa pengaruh likuifaksi, dan akibat likuifaksi dengan variasi diameter tiang pada kedalaman 12 m, dapat dilihat pada Gambar 4.



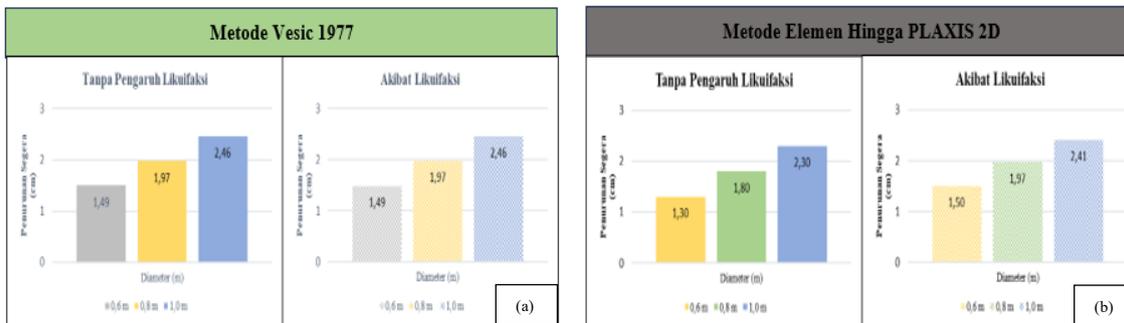
Gambar 4. (a) Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Metode Reese & O'Neil 1989; (b) Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Metode Elemen Hingga

Perbandingan nilai kehilangan daya dukung fondasi tiang bor akibat likuifaksi dengan variasi diameter tiang pada kedalaman 12 m, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Kehilangan Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Akibat Likuifaksi

Metode	Kedalaman Fondasi (m)	Diameter (m)	Daya Dukung Ultimit (Ton)		Kehilangan Daya Dukung (%)
			Tanpa Pengaruh Likuifaksi	Pengaruh Likuifaksi	
Reese & O'Neil 1989	12	0,6	76,01	71,06	6,51
		0,8	116,19	109,58	5,68
		1,0	163,78	152,45	6,92
PLAXIS 2D	12	0,6	77,08	73,00	5,29
		0,8	117,20	113,13	3,47
		1,0	164,77	160,73	2,45

Analisis penurunan segera pada fondasi tiang bor berdasarkan metode Vesic 1977 dan metode elemen hingga PLAXIS 2D tanpa pengaruh likuifaksi, dan akibat likuifaksi dengan variasi diameter tiang pada kedalaman 12 m, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. (a) Penurunan Segera Fondasi Tiang Bor Metode Vesic 1977; (b) Penurunan Segera Fondasi Tiang Bor Metode Elemen Hingga

Perbandingan nilai besaran penurunan segera fondasi tiang bor akibat likuifaksi dengan variasi diameter tiang pada kedalaman 12 m, dapat dilihat pada Tabel 4.

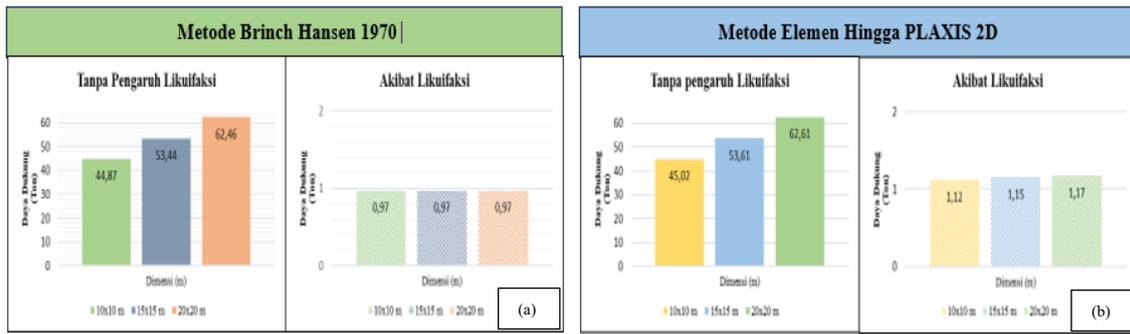
Tabel 4. Nilai Besaran Penurunan Segera Fondasi Tiang Bor Akibat Likuifaksi

Metode	Kedalaman Fondasi (m)	Diameter (m)	Penurunan Segera (cm)		Besaran Penurunan Segera (%)
			Tanpa Pengaruh Likuifaksi	Pengaruh Likuifaksi	
Vesic 1977	12	0,6	1,49	1,49	0,00
		0,8	1,97	1,97	0,00
		1,0	2,46	2,46	0,00
PLAXIS 2D	12	0,6	1,30	1,50	13,33
		0,8	1,80	1,97	8,63
		1,0	2,30	2,41	4,56

4.2.2. Fondasi Rakit

Analisis daya dukung pada fondasi rakit berdasarkan metode Brinch Hansen 1970 dan

metode elemen hingga PLAXIS 2D tanpa pengaruh likuifaksi, dan akibat likuifaksi dengan variasi dimensi fondasi pada kedalaman 1,5 m, dapat dilihat pada Gambar 6. berikut ini :



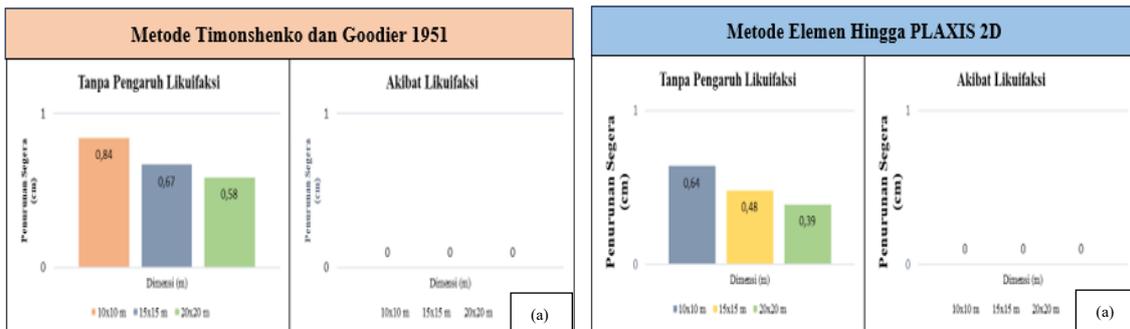
Gambar 6. (a) Daya Dukung Fondasi Rakit Metode Brinch Hansen 1970; (b) Daya Dukung Fondasi Rakit Metode Elemen Hingga

Perbandingan nilai kehilangan daya dukung fondasi rakit akibat likuifaksi dengan variasi dimensi fondasi pada kedalaman 1,5 m, dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Kehilangan Daya Dukung Fondasi Rakit Akibat Likuifaksi

Metode	Kedalaman Fondasi (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Daya Dukung (Ton)		Kehilangan Daya Dukung (%)
				Tanpa Pengaruh Likuifaksi	Pengaruh Likuifaksi	
Brinch Hansen 1970	1,5	10	10	44,87	0,97	97,84
		15	15	53,44	0,97	98,19
		20	20	62,46	0,97	98,45
PLAXIS 2D	1,5	10	10	45,02	1,12	97,51
		15	15	53,61	1,15	97,85
		20	20	62,61	1,17	98,13

Analisis penurunan segera pada fondasi rakit berdasarkan metode Timonshenko dan Goodier 1951 dan metode elemen hingga PLAXIS 2D tanpa pengaruh likuifaksi, dan akibat likuifaksi dengan variasi dimensi fondasi pada kedalaman 1,5 m, dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. (a) Penurunan Segera Fondasi Rakit Metode Timonshenko dan Goodier 1951; (b) Penurunan Segera Fondasi Rakit Metode Elemen Hingga

Perbandingan nilai besaran penurunan segera fondasi rakit akibat likuifaksi dengan variasi diameter fondasi pada kedalaman 1,5 m, dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Besaran Penurunan Segera Fondasi Rakit Akibat Likuifaksi

Metode	Kedalaman Fondasi (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Penurunan Segera (cm)		Besaran Penurunan (%)
				Tanpa Pengaruh Likuifaksi	Pengaruh Likuifaksi	
Timonshenko dan Goodier 1951	1,5	10	10	0,84	0	-
		15	15	0,67	0	-
		20	20	0,58	0	-
PLAXIS 2D	1,5	10	10	0,64	error	-
		15	15	0,48	error	-
		20	20	0,39	error	-

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada penelitian tugas akhir dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Besar perbandingan nilai daya dukung akibat likuifaksi pada fondasi tiang bor dengan variasi diameter tiang yaitu 0,6 m, 0,8 m, dan 1,0 m pada kedalaman tiang 12 m dengan menggunakan metode Reese & O'Neil 1989 yaitu diameter tiang 0,6 m = 6,51 %, diameter tiang 0,8 m = 5,68 %, dan diameter tiang 1,0 m = 6,92 %, sedangkan dengan menggunakan metode elemen hingga PLAXIS 2D yaitu diameter tiang 0,6 m = 5,29 %, diameter tiang 0,8 m = 3,47 %, dan diameter tiang 1,0 m = 2,45 %. Besar perbandingan nilai daya dukung akibat likuifaksi pada fondasi rakit dengan variasi dimensi fondasi yaitu 10x10 m, 15x15 m, dan 20x20 m pada kedalaman fondasi 1,5 m dengan menggunakan metode Brinch Hansen 1970 yaitu dimensi fondasi 10x10 m = 97,84 %, dimensi fondasi 15x15 m = 98,19 %, dan dimensi fondasi 20x20 m = 98,45 %, sedangkan dengan menggunakan metode elemen hingga PLAXIS 2D yaitu dimensi fondasi 10x10 m = 97,51 %, dimensi fondasi 15x15 m = 97,85 %, dan dimensi fondasi 20x20 m = 98,13 %.
2. Besar perbandingan nilai penurunan segera akibat likuifaksi pada fondasi tiang bor dengan variasi diameter tiang yaitu 0,6 m, 0,8 m, dan 1,0 m pada kedalaman tiang 12 m dengan menggunakan metode Vesic 1977 yaitu diameter tiang 0,6 m = 0 %, diameter tiang 0,8 m = 0 %, dan diameter tiang 1,0 m = 0 %, sedangkan dengan menggunakan metode elemen hingga PLAXIS 2D yaitu diameter tiang 0,6 m = 13,33 %, diameter tiang 0,8 m = 8,63 %, dan diameter tiang 1,0 m = 4,56 %. Besar perbandingan nilai penurunan segera akibat likuifaksi pada fondasi rakit dengan variasi dimensi fondasi yaitu 10x10 m, 15x15 m, dan 20x20 m pada kedalaman fondasi 1,5 m dengan menggunakan metode Timonshenko dan Goodier 1951 yaitu dimensi fondasi 10x10 m = - %, dimensi fondasi 15x15 m = - %, dan dimensi fondasi 20x20 m = - %, sedangkan dengan menggunakan metode elemen hingga PLAXIS 2D yaitu dimensi fondasi 10x10 m = - %, dimensi fondasi 15x15 m = - %, dan dimensi fondasi 20x20 m = - %.

Referensi

- Bowles, Joseph E. 1991. Sifat-sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Jakarta : Erlangga.
- Das, Braja M. 2011. Principles of Foundation Engineering 7th Edition. USA : Cengage Learning.
- Day, Robert W. 2002. Geotechnical Earthquake Engineering Handbook. New York : McGraw-Hill Company.
- Hardiyatmo, Hary C. 2008. Teknik Fondasi 2 Edisi Keempat. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary C. 2011. Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian I Edisi Kedua. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Idriss, I. M., and Boulanger, R. W. 2008. Soil Liquefaction During Earthquake. California : Earthquake Engineering Research Institute (EERI) Publication No.MNO-12.
- Kramer, Steven L. 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. New Jersey : Prentice Hall.
- Sardjono, H.S. 1991. Pondasi Tiang Pancang Jilid I. Surabaya : Sinar Wijaya.
- Terzaghi, K. dan Peck, R. 1943. Theoretical Soil Mecanic. New York : John Willey and Sons.
- Wang, J.G. and Law, K.T. 1994. Siting in Earthquake Zones. Rotterdam : Balkema
- Youd, T.L., and Idriss, I.M. 2001. Liquefaction Resistance of Soil: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. ASCE, Vol. 127(10), 817-33.
- Ariandi, E, S, J Manoppo, F, and R Sumampouw, J, E. 2019. Kajian Potensi Likuifaksi Pada Sekitar Pondasi Jembatan Prategang Di Sawangan. Jurnal Tekno 17: 21.
- Rompas, M. L. T., Manoppo, F. J., & Ticoh, J. H. (2020). Ijuk Untuk Mengendalikan Tanah Berpotensi Likuifaksi Pada Struktur Gedung Bangunan Akibat Gempa. Jurnal Sipil Statik, 8(3)
- Tandaju, C. A. V., Manoppo, F. J., & Ticoh, J. H. (2019). Analisis Potensi Likuifaksi (Studi Kasus: Pltu Area Gorontalo). Jurnal Sipil Statik, 7(9).
- Warouw, A. G. D., Manoppo, F. J., & Rondonuwu, S. G. (2019). Analisis Potensi Likuifaksi dengan Menggunakan Nilai SPT. Jurnal Sipil Statik, 7(11).