

Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Di Tanah Berpotensi Likuifaksi

Andrew J. Makalew^{#a}, Fabian J. Manoppo^{#b}, Steeva G. Rondonuwu^{#c}

^{#Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia}
^aandrewmakalew01@gmail.com, ^bfabian_jm@unsrat.ac.id, ^csteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id

Abstrak

Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan geser tanah pasir jenuh akibat kenaikan tekanan air pori selama gempa bumi yang dapat menyebabkan penurunan signifikan dan berkurangnya daya dukung tanah secara drastis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi likuifaksi dan dampaknya terhadap daya dukung Fondasi serta penurunan tanah menggunakan pendekatan empiris yang telah terbukti. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Youd-Idriss untuk evaluasi potensi likuifaksi dan metode Iwasaki untuk perhitungan indeks potensi likuifaksi. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai Cyclic Stress Ratio (CSR) yang dihitung berdasarkan parameter gempa dan kondisi lapisan tanah dengan Cyclic Resistance Ratio (CRR) yang diperoleh dari korelasi nilai N-SPT terkoreksi. Metode Iwasaki memberikan indikator yang baik untuk mengevaluasi tingkat bahaya likuifaksi secara keseluruhan pada suatu lokasi. Hasil penelitian menunjukkan pentingnya evaluasi potensi likuifaksi dalam analisis daya dukung tanah dan perhitungan kapasitas Fondasi, khususnya untuk daerah dengan aktivitas seismik tinggi. Metodologi yang dikembangkan dapat diaplikasikan untuk menentukan daya dukung aman fondasi dengan mempertimbangkan efek likuifaksi dan memberikan rekomendasi desain yang lebih akurat.

Kata kunci: daya dukung, penurunan, likuifaksi, penurunan akibat likuifaksi

1. Pendahuluan

Peristiwa likuifaksi menjadi pusat pengamatan dan konsentrasi, terutama di wilayah pesisir yang mempunyai karakteristik lapisan tanah granular. Kasus-kasus likuifaksi yang pernah terjadi pada gempa Niigata (1964), Loma Prieta (1989), Kobe (1995) telah mengindikasikan betapa kritisnya pemahaman dan analisa potensi likuifaksi. Potensi likuifaksi dan penurunan tanah merupakan masalah penting terutama di kawasan yang rawan gempa. Proses likuifaksi terjadi apabila terjadi getaran seismik dan menyebabkan kenaikan tekanan air pori dalam lapisan tanah granular jenuh air. Kondisi ini mengakibatkan berkurangnya tegangan efektif antar butiran tanah hingga mencapai nol, sehingga tanah kehilangan kekuatannya. Dampak dari gempa tersebut adalah tanah dapat berperilaku seperti cairan yang menyebabkan kerusakan struktural, penurunan tanah, atau pergeseran lapisan tanah dan dampak dari terjadinya fenomena ini adalah *sand boiling*, *lateral spreading*, dan penurunan tanah yang tidak dapat diprediksi sehingga kegagalan suatu Fondasi yang dapat menyebabkan runtuhnya bangunan diatasnya.

2. Landasan Teori

Gempa bumi adalah fenomena alam yang dimana terjadi getaran atau vibrasi di muka bumi dikarenakan ada pelepasan energi dari dalam bumi secara mendadak dan memicu gelombang seismik. Salah satu cara untuk mengetahui besaran daya dukung bore pile, dapat digunakan analisis Metode Meyerhof dan Reese dan Wright, dengan memasukan data hasil uji SPT.

Perhitungan daya dukung ujung dan daya dukung selimut tiang pancang menggunakan beberapa metode yang tertera sebagai berikut :

1. Metode Meyerhoff

$$Q_b = 40.N_b.A_b \quad (1)$$

$$Q_s = X_m. N-SPT . P . L_i \quad (2)$$

2. Metode Reese & Wright

$$Q_b = qP.A_p \quad (3)$$

$$Q_s = \sum_{i=1}^n f_s.L.P \quad (4)$$

3. Metode Vesic

$$Q_p = A_p \times q_p = A_p \times \sigma'_0 \times N_\sigma \quad (5)$$

$$Q_s = p \times L \times f_{av} \quad (6)$$

4. Metode Decourt-Quaresma

$$Q_p = \alpha \times Kdp \times N \times A_p \quad (7)$$

$$Q_s = \beta \times 10 \times (N/3+1) \times A_s \quad (8)$$

Untuk penurunan digunakan metode Vesic yang rumusnya sebagai berikut :

$$S_e = S_{e1} + S_{e2} + S_{e3} \quad (9)$$

$$S_{e1} = \frac{(Qwp + \varepsilon Qws) L}{A_p E_p} \quad (10)$$

$$S_{e2} = \frac{(Qwp + Cp)}{D \times qp} \quad (11)$$

$$S_{e3} = Qwp \times C_s / L \times qp \quad (12)$$

Pada dasarnya, analisis potensi likuifaksi adalah mencari hasil dari 2 parameter utama, yaitu : Cyclic Stress Ratio (CSR) yang merupakan tegangan siklik yang terjadi akibat gempa dibagi dengan tegangan efektif dan Cyclic Resistance Ratio (CRR) yang merupakan kapasitas ketahanan tanah untuk menahan likuifaksi. Dalam menghitung potensi terjadinya likuifaksi juga dapat dilakukan melalui tes uji coba laboratorium dan juga melakukan perhitungan dari data tes di lapangan seperti CPT dan SPT. Rumus dari CSR dan CRR adalah sebagai berikut :

$$1. \text{ CSR } = 0,65 * (a_{max}/g) * (\sigma_v/\sigma'_v) * r_d \quad (13)$$

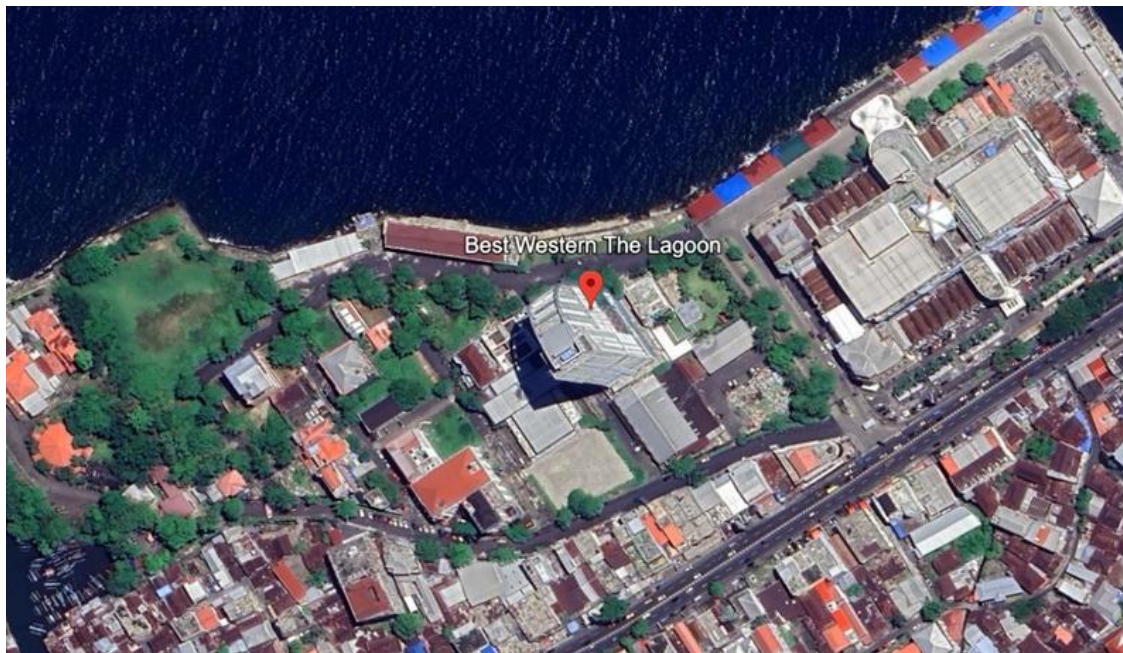
$$2. \text{ CRR } = \frac{1}{(34 - (N1)_{60CS})} + \frac{(N1)_{60CS}}{135} + \frac{50}{[10 * (N1)_{60CS} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (14)$$

Setelah didapat CSR dan CRR, perhitungan faktor keamanan dapat dilakukan dengan rumus :

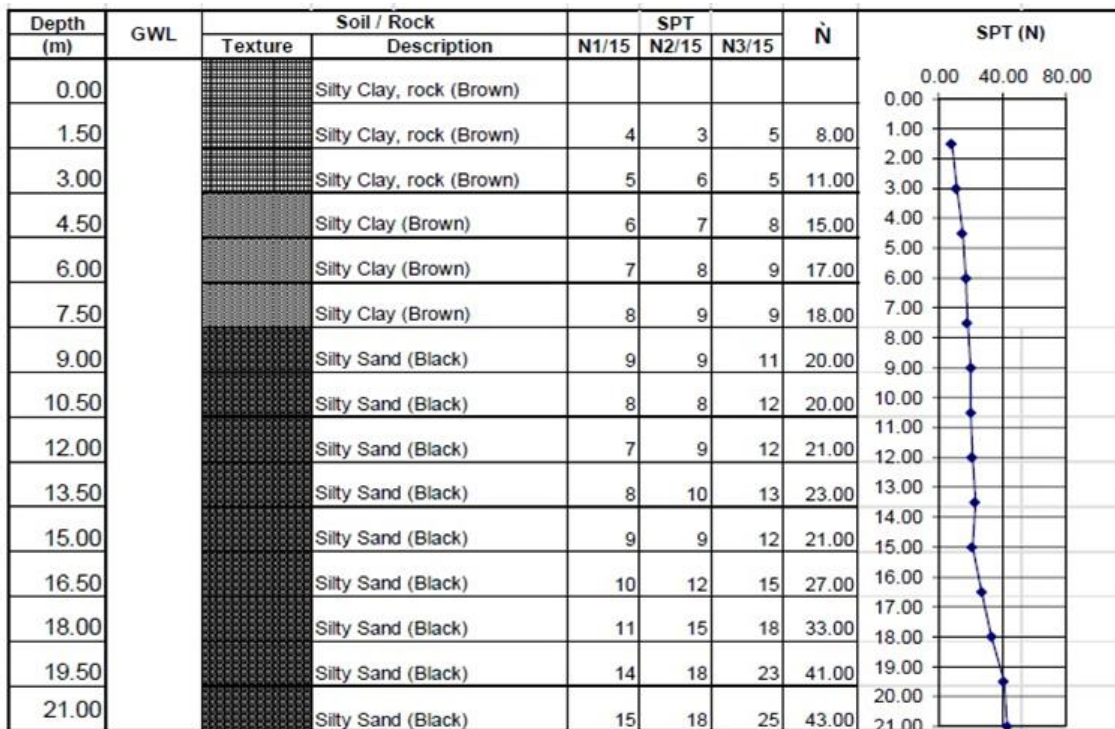
$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (15)$$

3. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data sekunder yaitu dengan menggunakan data sekunder yaitu data SPT. Setelah itu dihitung lah daya dukung dari tanah tersebut berdasarkan nilai N-SPT menggunakan metode Meyerhoff, Vesic, Reese & Wright, dan Decourt Quaresma. Lalu setelah itu dihitung juga penurunan fondasi menggunakan metode vesic . setelah itu dihitung potensi likuifaksi menggunakan metode manual yaitu dengan menggunakan metode Seed dan juga metode Iwasaki, dan juga dihitung untuk penurunan menggunakan metode manual dengan metode Ishihara & Yoshimine. Lalu sebagai perbandingan digunakan juga aplikasi Novoliq untuk perbandingan metode likuifaksi dan juga aplikasi Plaxis 3D untuk perbandingan daya dukung dan penurunannya. Lalu yang terakhir adalah dihitung juga daya dukung dan penurunan setelah likuifaksi. Berikut merupakan lokasi dan data yang dipakai dalam penelitian ini.



Gambar 1. Lokasi Penelitian



Gambar 2. Data N-SPT Hotel Lagoon

Gaya yang bekerja pada kolom fondasi									
Story	Label	Output Case	Case Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
				tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Base	3	New (Kombinasi 5 d)	Combination	82.652	-9.733	1426.561	101.7963	571.5565	10.1054
Base	3	Old (Kombinasi 5 d)	Combination	32.054	-16.537	979.2	54.169	202.1544	8.4604

Gambar 3. Data hasil Output Joint Reactions SAP2000

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Korelasi Data N-SPT

Hasil uji SPT digunakan untuk mendapatkan parameter tanah melalui korelasi yang akan digunakan dalam analisis selanjutnya.

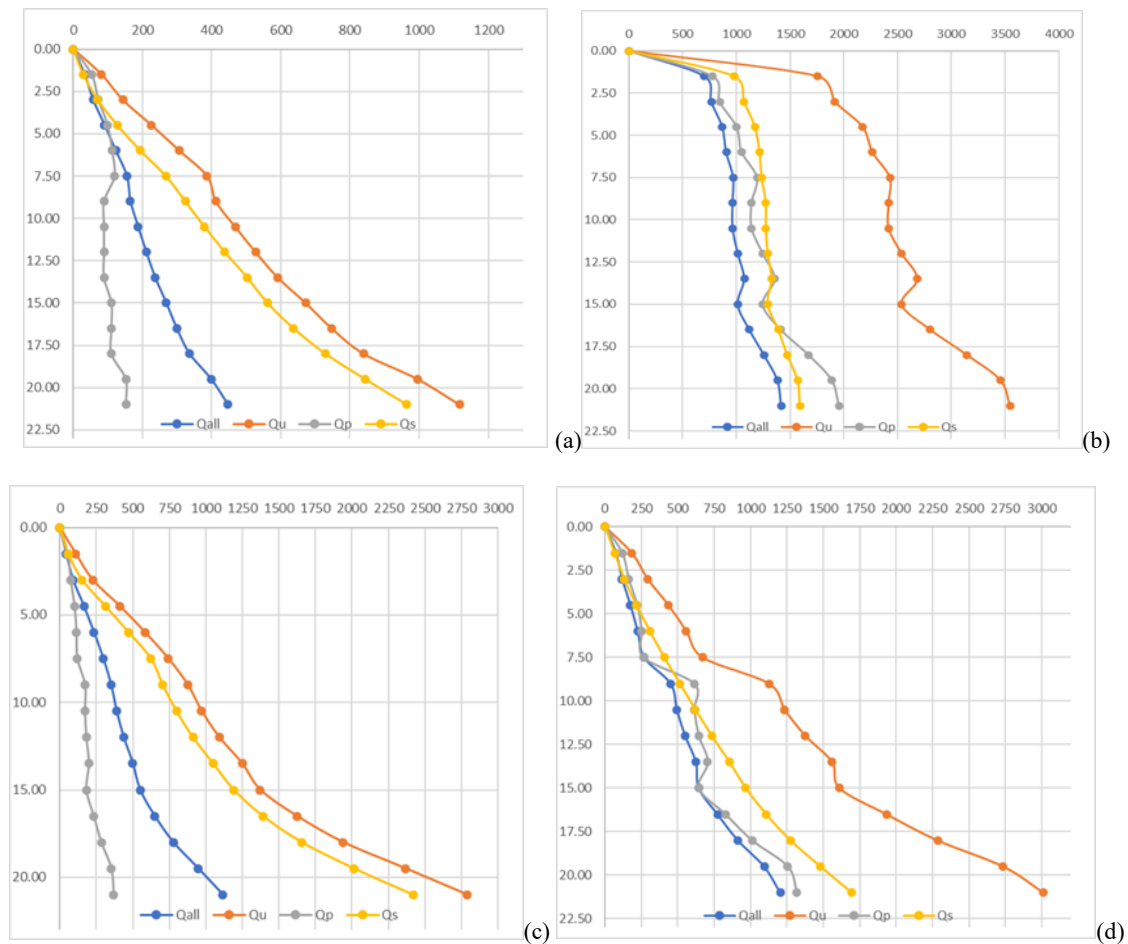
Tabel 1. Hasil Korelasi Data SPT dan Parameter Tanah

Depth (m)	Soil Consistency	Soil Description	N1/15	N2/15	N3/15	Nvalue	tiang tertanam (m)	N_{60} (Meyerhof)	Depth (m)	6N (kPa)	N_{60}	N_{60}^{corr}	Cu lempung (kN/m ²)	C pasir	ϕ (°)	γ_{moist} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
0.00	Soft	Silty Clay, Rock (Brown)	0	0	0	0	1.00	0	114.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	16.00	16.60
0.50						9.50		4.75									
1.00						8											
1.50			4	3	5	11		6.33									
2.00						13.00		9.67									
2.50						15											
3.00	Medium Stiff	Silty Clay (Brown)	5	6	5	17	3.50	10.20	192.00	66.00	9.13	54.78	66.00	73.33	31.49	16.91	26.14
3.50						10.63		10.41									
4.00						20.00		18.10									
4.50			6	7	8	21		24.00									
5.00						27		37.00									
5.50						41		31.00									
6.00	Stiff	Silty Sand (Black)	7	8	9	25	6.50	25.00	108.00	102.00	14.11	84.66	102.00	113.33	34.28	17.41	28.45
6.50						27		37.00									
7.00						41		31.00									
7.50			8	9	9	25		25.00									
8.00						27		37.00									
8.50						41		31.00									
9.00	Very Dense	Silty Sand (Black)	9	9	11	21	9.00	21.00	504.00	120.00	16.60	99.60	120.00	133.33	35.49	17.66	29.46
9.50						27		37.00									
10.00						41		31.00									
10.50			8	8	12	25		25.00									
11.00						27		37.00									
11.50						41		31.00									
12.00			7	9	12	25		25.00									
12.50						27		37.00									
13.00						41		31.00									
13.50			8	10	13	25		25.00									
14.00						27		37.00									
14.50						41		31.00									
15.00			9	9	12	25		25.00									
15.50						27		37.00									
16.00						41		31.00									
16.50			10	12	15	25		25.00									
17.00						27		37.00									
17.50						41		31.00									
18.00			11	15	18	25		25.00									
18.50						27		37.00									
19.00						41		31.00									
19.50			14	18	23	25		25.00									
20.00						27		37.00									
20.50						41		31.00									
21.00			15	18	25	43				258.00	35.69	214.14	258.00	286.67	42.72	19.57	35.45

4.2. Perhitungan Daya Dukung Fondasi Dan Grup Fondasi Tiang Pancang

Grup fondasi tiang pancang yang dianalisis berjumlah 16 tiang dengan tipe fondasi tiang prestress 4 segi dengan sisi (a) = 0,35 meter. Panjang tiang adalah 18 meter. Perhitungan daya dukung ini menggunakan metode Meyerhoff, Reese & Wright, Vesic, dan Decourt-Quaresma.

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan rata – rata untuk fondasi di kedalaman 18 meter Q_u nya bernilai 2457.42 kN, dengan begitu kita dapat menggunakan nilai efisiensi menggunakan rumus *conversse-labarre* yaitu dengan rumus $\eta = 1 - \frac{2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D}{pn_1n_2}$. Maka didapat daya dukung grup fondasi tiang yaitu bernilai 15358.86 kN, sedangkan untuk beban struktur atas dan beban sendiri didapat nilai 14829.56 kN, maka dapat dikatakan fondasi tersebut tergolong aman.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Keempat Metode:
(a) Meyerhoff, (b) Reese & Wright, (c) Vesic, (d) Decourt-Quaresma

4.3. Perhitungan Penurunan Fondasi Tiang Pancang

Perhitungan penurunan fondasi tiang pancang sebelum terjadi likuifaksi menggunakan metode Vesic.

Tabel 2. Penurunan Fondasi dengan Metode Vesic

Penurunan Tiang Tunggal (Metode Meyerhoff)				
S1	=	0.00326	m	= 3.26 mm
S2	=	0.01050	m	= 10.50 mm
S3	=	0.00019	m	= 0.19 mm
Se	=	0.01395	m	= 13.95 mm
Metode Empiris				
Se	=	0.00807	m	= 8.07 mm
Penurunan Tiang Kelompok Semi Empiris				
Sg(e)	=	0.05944	m	= 59.44 mm
Penurunan Tiang Kelompok Empiris				
Sg(e)	=	0.03438	m	= 34.38 mm

Penurunan Tiang Tunggal (Metode Reese & Wright)				
Se1	=	0.00758	m	= 7.58 mm
Se2	=	0.01050	m	= 10.50 mm
Se3	=	0.00019	m	= 0.19 mm
Se	=	0.01828	m	= 18.28 mm
Metode Empiris				
Se	=	0.01406	m	= 14.06 mm
Penurunan Tiang Kelompok Semi Empiris				
Sg(e)	=	0.07785	m	= 77.85 mm
Penurunan Tiang Kelompok Empiris				
Sg(e)	=	0.05988	m	= 59.88 mm

Penurunan Tiang Tunggal (Metode Vesic)				
Se1	=	0.01448	m	= 14.48 mm
Se2	=	0.01050	m	= 10.50 mm
Se3	=	0.00019	m	= 0.19 mm
Se	=	0.02518	m	= 25.18 mm
Metode Empiris				
Se	=	0.02063	m	= 20.63 mm
Penurunan Tiang Kelompok Semi Empiris				
Sg(e)	=	0.10724	m	= 107.24 mm
Penurunan Tiang Kelompok Empiris				
Sg(e)	=	0.08787	m	= 87.87 mm

Penurunan Tiang Tunggal (Decourt Quaresma)				
Se1	=	0.01015	m	= 10.15 mm
Se2	=	0.01050	m	= 10.50 mm
Se3	=	0.00019	m	= 0.19 mm
Se	=	0.02084	m	= 20.84 mm
Metode Empiris				
Se	=	0.01593	m	= 15.93 mm
Penurunan Tiang Kelompok Semi Empiris				
Sg(e)	=	0.08877	m	= 88.77 mm
Penurunan Tiang Kelompok Empiris				
Sg(e)	=	0.06787	m	= 67.87 mm

4.4. Analisa Potensi Likuifaksi

Analisa potensi likuifaksi dengan menggunakan metode konvensional yaitu metode Youd & Seed dan Iwasaki. Sebagai perbandingan digunakan juga hasil perhitungan aplikasi Novolig.

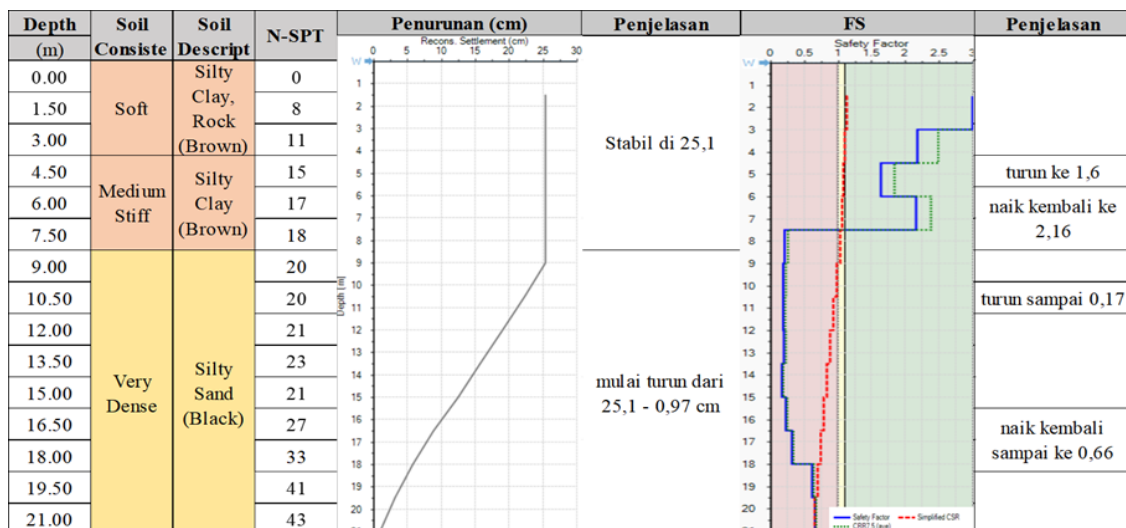
Tabel 3. Tabel Hasil Analisa FS menggunakan Metode Youd & Seed

depth	FS							
	FS 5	FS 5,5	FS 6	FS 6,5	FS 8	FS 8,5	FS 9	FS 9,5
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.50	2.9597	2.3189	1.8558	1.5120	0.8889	0.7611	0.6575	0.5725
3.00	3.6280	0.0258	2.2749	1.8534	1.2854	0.9330	0.8060	0.7018
4.50	4.5106	0.0250	2.8283	2.3043	1.5981	1.1600	1.0021	0.8725
6.00	4.7827	0.0249	2.9989	2.4433	1.6945	1.2299	1.0625	0.9252
7.50	4.7917	0.0249	3.0046	2.4479	1.6977	1.2322	1.0645	0.9269
9.00	4.9042	0.0247	3.0751	2.5054	1.7375	1.2612	1.0895	0.9487
10.50	4.7918	0.0248	3.0046	2.4479	1.6977	1.2323	1.0645	0.9269
12.00	4.9776	0.0249	3.1212	2.5429	1.7635	1.2801	1.1058	0.9629
13.50	5.4512	0.0248	3.4181	2.7848	1.9313	1.4018	1.2110	1.0545
15.00	5.1181	0.0252	3.2092	2.6146	1.8133	1.3162	1.1370	0.9900
16.50	12.3597	0.0281	7.7500	6.3141	4.3789	3.1784	2.7458	2.3909
18.00	8.1166	0.0247	5.0894	4.1465	2.8756	2.0873	1.8031	1.5701
19.50	10.2238	0.0249	6.4107	5.2230	3.6222	2.6292	2.2713	1.9777
21.00	10.7401	0.0249	6.7345	5.4867	3.8052	2.7620	2.3860	2.0776

Tabel 4. Tabel Hasil Analisa FL menggunakan Metode Iwasaki

Depth (m)	Nvalue	R (kN/m ³)	L	FL
0.00	0	0	0.00	0.00
1.50	8	0.583321	0.1095	5.33
3.00	11	0.579685	0.1055	5.49
4.50	15	0.591936	0.1011	5.85
6.00	17	0.515883	0.0985	5.24
7.50	18	0.474396	0.0966	4.91
9.00	20	0.4621	0.1041	4.44
10.50	20	0.441904	0.0999	4.42
12.00	21	0.397264	0.0949	4.19
13.50	23	0.386427	0.0894	4.32
15.00	21	0.376799	0.0860	4.38
16.50	27	0.381908	0.0789	4.84
18.00	33	0.383481	0.0723	5.30
19.50	41	0.38512	0.0657	5.86
21.00	43	0.385674	0.0611	6.31

Tabel 5. Tabel Hasil Analisa Aplikasi Novolig (Metode Boulanger – Idriss 2014)



4.5. Perhitungan Daya Dukung Dan Penurunan Setelah Terjadi Likuifaksi

Analisa perhitungan daya dukung setelah fondasi digunakan asumsi bahwa daya dukung dari 0 – 9 meter terjadi likuifaksi sesuai dengan perhitungan empiris menggunakan metode Youd & Seed.

Tabel 6. Tabel Hasil Analisa Daya Dukung Setelah Terjadi Likuifaksi

Depth (m)	Qu (kPa)	Qu (kPa)	Qu (kPa)	Qu (kPa)
0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10.5	144.69	1797.79	265.58	719.833
12	203.49	1919.24	387.051	862.458
13.5	267.89	2064.56	543.305	1045.04
15	348.25	1919.24	667.275	1095.79
16.5	423.85	2184.23	918.309	1419.54
18	516.25	2527.42	1235.87	1771.29
19.5	672.7	2839.1	1662.65	2221.63
21	793.1	2926.8	2084.34	2497.54

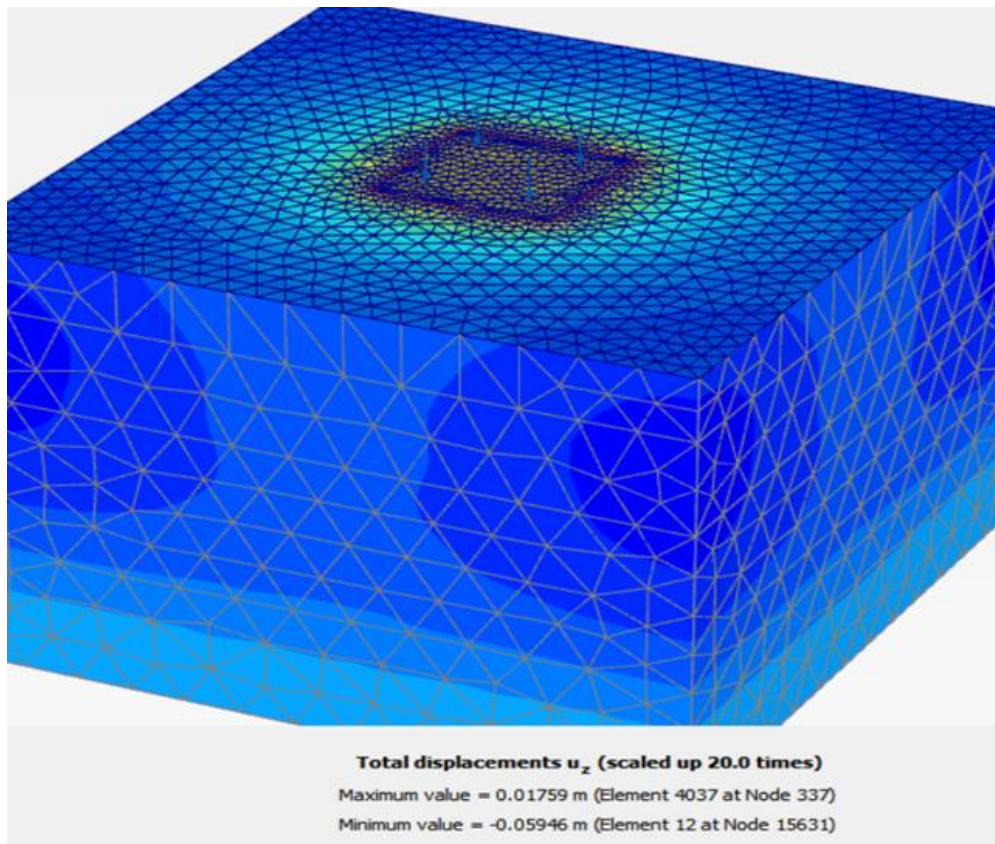
Sehingga didapat daya dukung grup fondasi adalah 11530,37 kN yang bernilai lebih kecil dari beban struktur atasnya yaitu 14829,56 kN sehingga fondasi ini dikategorikan tidak aman apabila terjadi likuifaksi diatas 8 Magnitude. Penurunan akibat likuifaksi nya menggunakan metode Ishihara & Yoshimine dengan menggunakan regangan volumetrik sebagai parameter utama dalam mencari seberapa besar penurunan yang terjadi. Regangan volumetrik tersebut berhubungan langsung dengan nilai N1 pada nilai N-SPT nya dan nilai FS.

Tabel 7. Tabel Hasil Analisa Penurunan Setelah Terjadi Likuifaksi

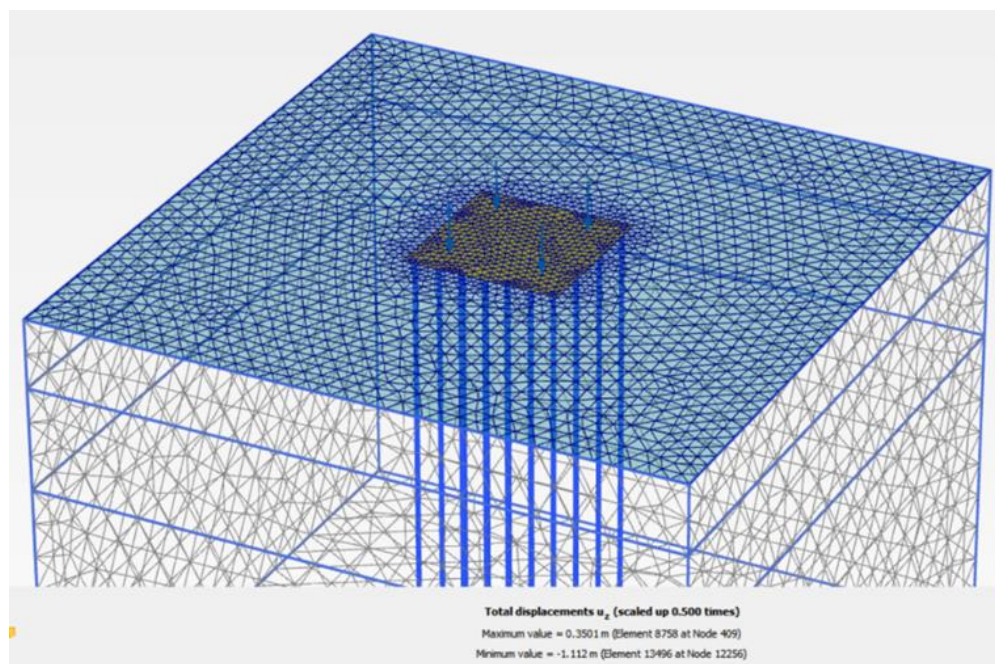
Penurunan akibat likuifaksi (Ishihara & Yoshimine 1992)				
N1	FS 8	ε_v	ΔH	ΔH
		%	M	Cm
8	0.8889	3.8	0.057	5.7
11	1.2854	2.5	0.0375	3.75
15	1.5981	1.3	0.0195	1.95
17	1.6945	0.6	0.009	0.9
18	1.6977	0.5	0.0075	0.75
20	1.7375	0.3	0.0045	0.45
20	1.6977	0.5	0.0075	0.75
21	1.7635	0.3	0.0045	0.45
23	1.9313	0.2	0.003	0.3
21	1.8133	0.25	0.00375	0.375
27	4.3789	0	0	0
33	2.8756	0	0	0
41	3.6222	0	0	0
43	3.8052	0	0	0
		=	0.15975	15.375

4.6. Analisa Aplikasi Plaxis 3D

Fase analisis yang digunakan dalam pemodelan PLAXIS 3D adalah: 1) Fase Awal; 2) Fase pemodelan tipe tanah; 3) Fase pemodelan fondasi tiang pancang; 4) Fase pembebanan struktur; 5) Fase running.



Gambar 5. Penurunan Sebelum Terjadi Likuifaksi



Gambar 6. Penurunan Setelah Terjadi Likuifaksi

5. Kesimpulan

1. Pada nilai fondasi tiang pancang sebanyak 16 buah dengan panjang sisi sebesar 0.35 nilai daya dukung ultimate dengan menggunakan metode Meyerhoff, Reese & Wright, Vesic, dan Decourt-Quaresma adalah 839.82 kN, 3147.42 kN, 1947.32 kN, dan 2284.64 didapat rata – rata dari ke empat metode adalah 2457.42 kN Untuk Daya dukung izin tiang kelompok sudah aman yaitu nilai daya dukung izin tiang kelompok ($Q_{g(all)}$) > nilai beban sendiri ditambah beban struktur atas (P_u) dengan nilai $16755.12 > 14829.56$. Lalu, untuk tingkat penurunan fondasi tiang dengan panjang sisi 0.35 meter sebelum terjadi likuifaksi, dengan analisis cara manual menggunakan metode Vesic sebesar 19.56 mm dan penurunan kelompok tiang Fondasi sebesar 62.50 mm; dan penurunan tiang kelompok menggunakan *software Plaxis 3D* sebesar 24.62 mm
2. Hasil perhitungan likuifaksi pada tanah metode manual Youd & Idriss dengan variasi magnitude 5 – 9,5 didapatkan hasil nya adalah potensi terjadi nya likuifaksi hanya terjadi pada tanah dengan kedalaman 0 – 4 meter dengan magnitude 8 dan pada kedalaman 0 – 15 meter untuk magnitude 9,5. Untuk potensi likuifaksi dengan metode Iwasaki, didapatkan dengan LPI relatif rendah untuk kedalaman 7,5 meter kebawah dan potensi likuifaksi dengan kedalaman 0 – 6 meter cukup tinggi dan diperlukan perbaikan tanah.
3. Berdasarkan hasil perhitungan Aplikasi *Novoliq* menyatakan bahwa perilaku tanah untuk tanah lempung di 6 dan 8 magnitude potensi likuifaksi nya aman, sedangkan untuk tanah pasir, potensi likuifaksi nya tidak aman untuk semua metode, kecuali pada metode Cetin et al dikarenakan rumus K_σ meninjau jangkauan parameter f yang ditampilkan.
4. Untuk nilai penurunan akibat likuifaksi berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metode Ishihara didapat nilai 15,375 cm untuk FS 8 dan 37,7 cm untuk FS 9. Untuk aplikasi *Plaxis 3D*, dengan menggunakan pendekatan nilai kuat geser, didapat nilai sebesar 21,07 mm. Untuk nilai daya dukung akibat likuifaksi berdasarkan hasil perhitungan manual didapat nilai 11530,37 kN, yang berarti pondasi dinyatakan tidak aman jika terjadi likuifaksi di kedalaman 0 – 8 meter dikarenakan tidak melewati syarat beban struktur atas (P_u) 14829.56 kN.

Referensi

- Mase, L. Z. (2018). Studi Keandalan Metode Analisis Likuifaksi Menggunakan SPT Akibat Gempa 8, 6 Mw, 12 September 2007 di Area Pesisir Kota Bengkulu. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1), 53-60.
- Pujar, A., Naveen, B. O., & Swaroop, T. M. (2024). Dynamic Analysis of Pile Foundations Under Liquefiable Soil. Dalam *Technologies for Sustainable Buildings and Infrastructure* (hlm. 163–175). Springer.
- Fadilah, U. N., & Tunafiah, H. (2018). Analisa Daya Dukung Fondasi Bored Pile Berdasarkan Data N-SPT Menurut Rumus Reese&Wright Dan Penurunan. *IKRA-ITH Teknologi Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(3), 7-13.
- Prakasa, A. G., & Rijaluddin, A. (2016). Analisa Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi Tiang Bor (Bored Pile) Tunggal Dengan Menggunakan Program *Plaxis* (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Yogya Toserba II Majalengka). *J-ENSITEC*, 3(01).
- Sjahraim, U. M., Rondonuwu, S. G., & Riogilang, H. (2021). ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN MENGGUNAKAN PARAMETER KUAT GESER TANAH LEMPUNG. *JURNAL ILMIAH MEDIA ENGINEERING*, 11(3).
- Tanod, C. A. C., Manoppo, F. J., & Rondonuwu, S. G. (2025). Analisis Pengaruh Likuifaksi Tanah Terhadap Fondasi Box dan Fondasi Raft Menggunakan Alat Simulasi Gempa Shaking Table. *Jurnal Sosial Teknologi*, 5(4), 1110-1123
- Iwasaki, T., Tokida, K., & Tatsuoka, F. (1981). Soil liquefaction potential evaluation with use of the simplified procedure.
- Dzulfaqih, L., & Putra, F. H. (2022). ANALISA PERBANDINGAN DAYA DUKUNG FONDASI BORED PILE DAN TIANG PANCANG DENGAN MENINJAU POTENSI LIKUIFAKSI (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung).
- Soeratinoyo, A. H., Manoppo, F. J., & Mandagi, A. T. (2022). Pemodelan Fondasi Box Di Tanah Berpotensi Likuifaksi. *TEKNO*, 20(81).
- Manoppo, V. N., Riogilang, H., & Riogilang, H. (2023). Evaluasi limbah cair dan limbah padat di rumah sakit ADVENT Kota Manado. *Tekno*, 21(84), 539-550.
- Polii, V., Riogilang, H., & Manarainsong, L. D. (2024). Analisis Potensi Likuifaksi Pada Ruas Jalan Tol Manado-Bitung (Sta. 9+ 745). *TEKNO*, 22(89), 1523-1532.

Sjahrain, U. M., Rondonuwu, S. G., & Riogilang, H. (2021). Analisis Potensi Likuifaksi Dengan Menggunakan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 11(3).