



Analisis Daya Dukung Fondasi Sumuran Akibat Gempa Pada Pembangunan Rusun UKIT

Revania A. Tawaang^{#a}, Steeva G. Rondonuwu^{#b}, Jack H. Ticoh^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^arevaniatawaang15@gmail.com, ^bsteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id, ^cjack.ticoh@unsrat.ac.id

Abstrak

Pembangunan rumah susun di wilayah rawan gempa menuntut perencanaan fondasi yang mampu menahan beban vertikal, lateral, serta pengaruh gempa dan potensi likuifaksi tanah. Salah satu jenis fondasi yang banyak digunakan adalah fondasi sumuran, yang dirancang untuk menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah keras pada kedalaman tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas daya dukung aksial dan lateral, defleksi, penurunan, serta mengevaluasi potensi likuifaksi tanah terhadap fondasi sumuran pada proyek pembangunan Rumah Susun Universitas Kristen Indonesia Tomohon (UKIT). Data yang digunakan adalah data sekunder hasil uji sondir CPT (Cone Penetration Test) pada tiga titik di lokasi proyek. Analisis dilakukan secara manual dan dengan bantuan software geoteknik AllPile untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Selain itu, analisis potensi likuifaksi dihitung menggunakan pendekatan Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), dan faktor keamanan (SF) berdasarkan metode yang direkomendasikan oleh Seed dan Idriss. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung aksial izin secara manual berkisar antara 3012,6 kN hingga 4917,93 kN, sedangkan hasil analisis menggunakan software AllPile berkisar antara 722,399 kN hingga 1561,584 kN. Kapasitas dukung lateral izin berada pada kisaran 418,02 kN hingga 627,02 kN dengan momen maksimum mencapai 5225,18 kNm, sedangkan defleksi lateral maksimum yang terjadi adalah 1,9 mm, yang masih memenuhi batas aman. Analisis potensi likuifaksi menunjukkan bahwa lapisan tanah dari permukaan hingga kedalaman ± 4 m memiliki nilai faktor keamanan (SF) < 1 , sehingga berpotensi mengalami likuifaksi pada kondisi gempa rencana. Hasil perhitungan penurunan fondasi sumuran berada pada kisaran 8,324 mm hingga 11,668 mm dan masih memenuhi syarat batas penurunan yang diizinkan. Temuan ini mengindikasikan perlunya perencanaan mitigasi seperti perkuatan tanah atau alternatif desain fondasi untuk menjamin kestabilan struktur pada area rawan gempa.

Kata kunci: fondasi sumuran, daya dukung, likuifaksi, penurunan, defleksi

1. Pendahuluan

Indonesia termasuk wilayah dengan aktivitas seismik tinggi sehingga perencanaan struktur, khususnya bangunan bertingkat, harus mempertimbangkan pengaruh beban gempa. Fondasi sebagai elemen bawah struktur memegang peran penting dalam menahan beban vertikal dan lateral agar kestabilan bangunan tetap terjaga. Kesalahan dalam pemilihan dan perencanaan fondasi dapat menimbulkan penurunan berlebih bahkan kegagalan struktur. Pada proyek pembangunan Rumah Susun Universitas Kristen Indonesia Tomohon (UKIT), digunakan fondasi sumuran yang dirancang untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah keras pada kedalaman tertentu. Fondasi sumuran umumnya mampu memberikan daya dukung tinggi, tetapi pada daerah rawan gempa harus diperhitungkan pengaruh beban horizontal serta potensi likuifaksi yang dapat mengurangi kekuatan geser tanah. Likuifaksi biasanya terjadi pada tanah pasir jenuh akibat pembebanan dinamis dan berpotensi mengganggu kestabilan fondasi. Oleh karena itu, analisis daya dukung aksial dan lateral, defleksi, penurunan, serta potensi likuifaksi perlu dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi. Analisis ini dilakukan dengan metode perhitungan manual dan dibantu perangkat lunak geoteknik sebagai pembanding. Penelitian ini diharapkan memberikan

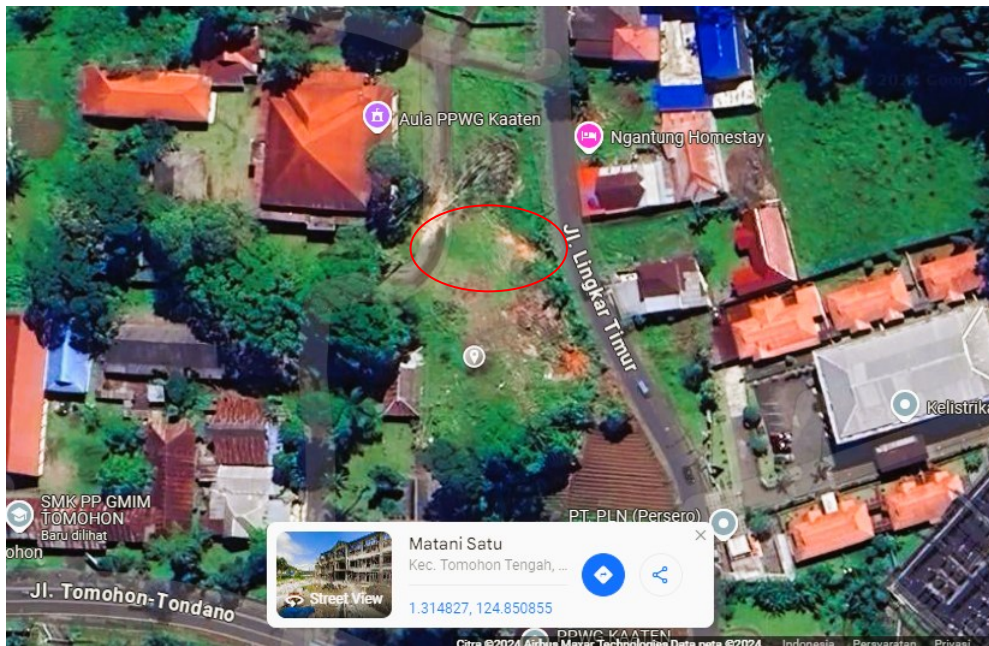
informasi yang bermanfaat dalam perencanaan fondasi sumuran untuk proyek bangunan bertingkat di wilayah rawan gempa.

2. Landasan Teori

Fondasi merupakan elemen struktur bagian bawah yang berfungsi menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah atau batuan di bawahnya dengan aman. Perencanaan fondasi harus memenuhi persyaratan kekuatan baik untuk struktur fondasi maupun tanah pendukungnya, serta penurunan harus berada dalam batas yang diizinkan. Fondasi sumuran termasuk kategori fondasi dalam, digunakan pada tanah dengan lapisan keras pada kedalaman tertentu. Mekanisme daya dukung fondasi ini diperoleh dari tahanan ujung (end bearing) dan tahanan selimut (skin friction). Untuk perencanaan, daya dukung izin diperoleh dari daya dukung ultimit yang dibagi dengan faktor keamanan sesuai ketentuan SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, yaitu minimum 3 untuk fondasi dangkal dan minimum 2,5 untuk fondasi dalam. Analisis daya dukung aksial fondasi sumuran dilakukan berdasarkan parameter tanah yang diperoleh dari pengujian lapangan. Nilai tahanan ujung dan selimut dihitung dari korelasi hasil uji CPT. Kapasitas dukung lateral dianalisis menggunakan metode Broms, sedangkan defleksi lateral dihitung dengan persamaan Matlock dan Reese. Selain itu, evaluasi potensi likuifaksi menjadi penting di daerah rawan gempa. Analisis ini dilakukan dengan menghitung Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), dan faktor keamanan (FS) berdasarkan metode Seed dan Idriss. Untuk memperkuat hasil analisis manual, digunakan perangkat lunak AllPile sebagai pembanding dalam perhitungan kapasitas aksial, lateral, dan defleksi, serta analisis penurunan fondasi.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan Rumah Susun Universitas Kristen Indonesia Tomohon (UKIT), yang terletak di wilayah rawan gempa. Data yang digunakan berupa data hasil uji sondir (Cone Penetration Test/CPT) pada tiga titik di lokasi proyek, data beban struktur rencana, serta informasi karakteristik tanah dari hasil penyelidikan lapangan. Tahapan penelitian terdiri atas beberapa langkah utama, yaitu: (1) Pengumpulan Data, berupa hasil uji CPT untuk mendapatkan nilai q_c sebagai dasar perhitungan parameter tanah. Data ini digunakan untuk menghitung daya dukung fondasi serta mengevaluasi potensi likuifaksi. (2) Perhitungan Daya Dukung Aksial, dilakukan secara manual dengan memisahkan komponen tahanan ujung (end bearing) dan tahanan selimut (skin friction). Nilai tahanan ujung diperoleh dari korelasi q_c terhadap kuat geser tanah, sedangkan tahanan selimut dihitung berdasarkan friksi tanah. Hasil perhitungan dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan perangkat lunak AllPile untuk memverifikasi nilai daya dukung aksial izin. (3) Analisis Daya Dukung Lateral, dilakukan menggunakan metode Broms untuk menghitung kapasitas lateral yang dapat diterima oleh fondasi sumuran. Selanjutnya, dilakukan perhitungan defleksi lateral menggunakan persamaan Matlock dan Reese untuk memastikan deformasi masih dalam batas aman, sesuai dengan kriteria yang ditentukan SNI 8460:2017. (4) Analisis Potensi Likuifaksi, menggunakan pendekatan Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), dan faktor keamanan (FS) berdasarkan metode Seed dan Idriss. Perhitungan dilakukan untuk setiap kedalaman pada titik uji CPT. Nilai $FS < 1$ menunjukkan lapisan tanah berpotensi mengalami likuifaksi. (5) Perhitungan Penurunan Fondasi, dilakukan secara manual dengan pendekatan elastisitas dan distribusi tegangan pada lapisan tanah. Penurunan yang diperoleh dibandingkan dengan batas penurunan yang diizinkan. Analisis dilakukan pada variasi diameter fondasi sumuran, yaitu 0,8 m, 1,0 m, dan 1,2 m dengan kedalaman fondasi 5 m. Seluruh hasil perhitungan dibandingkan dengan ketentuan yang berlaku dan diverifikasi menggunakan perangkat lunak AllPile untuk memberikan analisis yang lebih komprehensif.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber : Google Maps, 2024)

4. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini disajikan hasil analisis yang meliputi pengolahan data sondir untuk menentukan nilai parameter tanah, perhitungan kapasitas dukung aksial dan lateral fondasi sumuran dengan metode manual maupun software AllPile, evaluasi penurunan dan defleksi, serta analisis potensi likuifaksi akibat gempa. Setiap hasil yang diperoleh kemudian dibahas untuk menilai kinerja fondasi sumuran berdasarkan kondisi lapangan.

4.1. Hasil Pengolahan Data Sondir Nilai Parameter Tanah Titik S-1

Data hasil CPT menunjukkan variasi jenis tanah dari lapisan lempung, lanau, hingga pasir. Nilai q_c yang semakin meningkat dengan bertambahnya kedalaman mengindikasikan bahwa kekuatan tanah semakin besar pada lapisan yang lebih dalam. Hal ini penting karena lapisan atas dengan nilai q_c rendah cenderung lebih lemah dan berpotensi mengalami likuifaksi, sedangkan lapisan lebih dalam berfungsi sebagai lapisan pendukung utama bagi fondasi sumuran. Korelasi terhadap hasil sondir ditampilkan pada Tabel 1 dengan referensi titik sondir S-1.

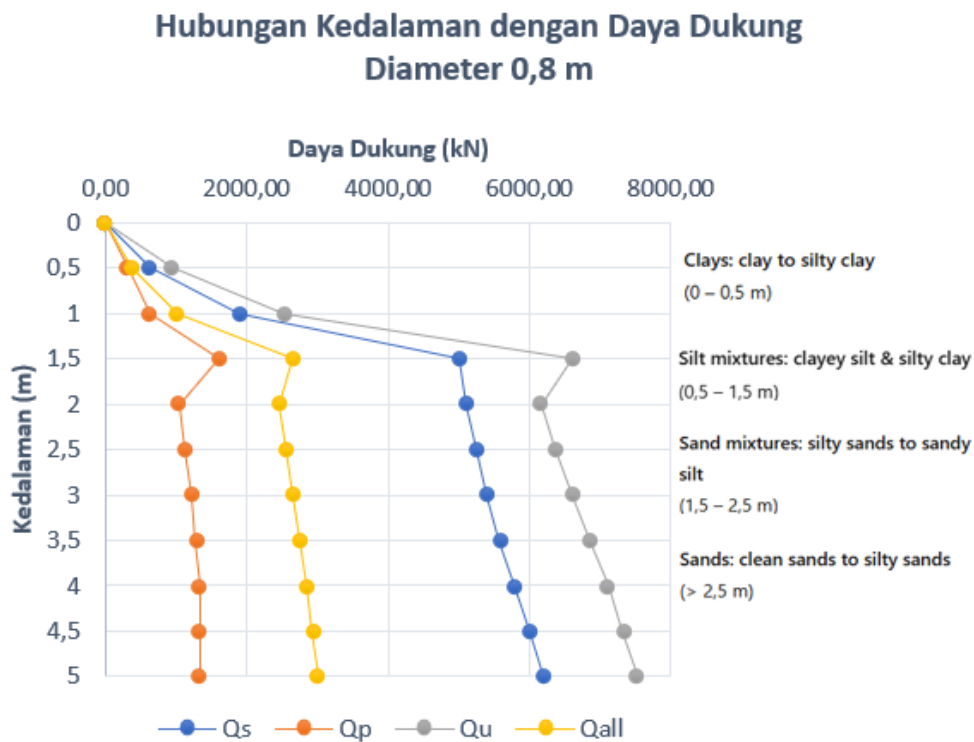
Tabel 1. Hasil Pengolahan Data Sondir Nilai Parameter Tanah Titik S-1

Depth to	q_c	f_s	R_f	q_c/pa	Soil Description	γ	σ'_{v0}	σ'_p	ϕ'	c_u	c'	E
0	0,00	0,00	0,00	0,00	Silt mixtures : clayey silt & silty clay	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
0,5	1961,33	65,70	3,35	19,61		18,08	9,04	644,26	20,24	141,74	94,49	4903,33
1	1961,33	65,70	3,35	19,61		18,08	18,08	641,27	18,57	141,08	94,05	4903,33
1,5	2942,00	131,41	4,47	29,42	Sand mixtures : silty sands to sandy silt	19,03	28,55	961,44	19,41	211,52	141,01	7354,99
2	4903,33	131,41	2,68	49,03		19,23	38,46	1605,41	21,15	353,19	235,46	12258,31
2,5	6864,66	131,41	1,91	68,65		19,36	48,40	2249,37	22,21	494,86	329,91	17161,64
3	9806,65	160,83	1,64	98,07	Sands : clean sands to silty sands	19,73	59,18	3216,66	23,44	707,67	471,78	24516,63
3,5	13729,31	131,41	0,96	137,29		19,62	68,68	4508,01	24,69	991,76	661,17	34323,28
4	17651,97	131,41	0,74	176,52		19,72	78,88	5799,12	25,57	1275,81	850,54	44129,93

4.2. Perhitungan Daya Dukung Aksial

Perhitungan manual memperlihatkan bahwa semakin besar diameter fondasi, daya dukung aksial meningkat signifikan. Hal ini sesuai dengan teori bahwa peningkatan luas penampang ujung serta friksi selimut memperbesar kapasitas dukung. Namun, hasil dari AllPile lebih konservatif dibandingkan perhitungan manual. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa software memperhitungkan faktor keamanan tambahan, deformasi, serta interaksi tanah–struktur secara lebih detail. Dengan demikian, untuk perencanaan lapangan sebaiknya nilai dari AllPile dipertimbangkan sebagai acuan konservatif.

Hasil perhitungan daya dukung aksial fondasi sumuran dengan diameter 0,8 m, 1,0 m, dan 1,2 m pada kedalaman 5 m menunjukkan bahwa semakin besar diameter fondasi, semakin besar pula kapasitas daya dukung. Perhitungan manual memberikan hasil 3012,6 kN, 3965,6 kN, dan 4917,93 kN, sedangkan analisis dengan AllPile memberikan hasil 722,399 kN, 1100,745 kN, dan 1561,584 kN. Perbedaan ini disebabkan oleh pendekatan yang digunakan, di mana metode manual bersifat empiris sedangkan AllPile lebih konservatif.



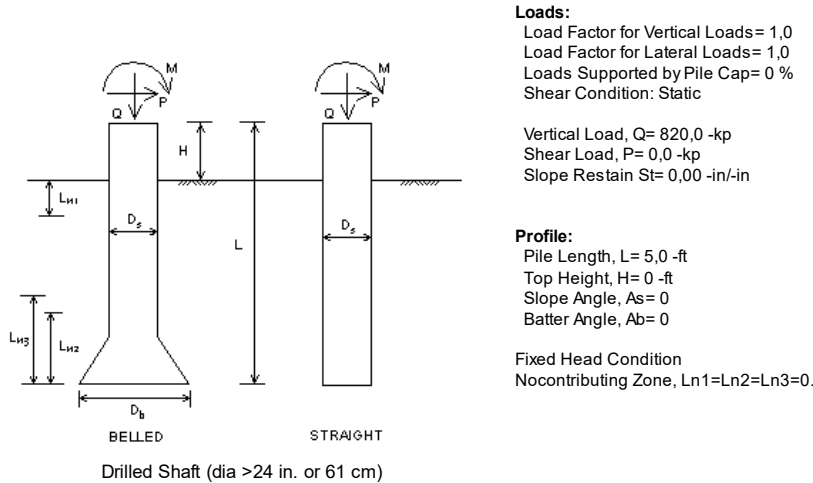
Gambar 2. Grafik Daya Dukung Aksial Fondasi Sumuran Diameter 0,8 m

4.3. Analisis Daya Dukung Aksial menggunakan AllPile

Hasil analisis menggunakan AllPile memperlihatkan kapasitas daya dukung yang lebih rendah dibandingkan metode manual. Hal ini terjadi karena AllPile memperhitungkan faktor keamanan dan interaksi tanah–struktur secara lebih konservatif. Berdasarkan analisis menggunakan AllPile menunjukkan kapasitas ultimate Q_{ult} sebesar 1444,798 kN dan kapasitas izin Q_{all} sebesar 722,399 kN. Berikut ini merupakan hasil analisis dari Allpile.

VERTICAL ANALYSIS

Figure 1



Loads:
 Load Factor for Vertical Loads= 1,0
 Load Factor for Lateral Loads= 1,0
 Loads Supported by Pile Cap= 0 %
 Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 820,0 -kp
 Shear Load, P= 0,0 -kp
 Slope Restrain St= 0,00 -in/-in

Profile:
 Pile Length, L= 5,0 -ft
 Top Height, H= 0 -ft
 Slope Angle, As= 0
 Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition
 Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

Soil Data:							Pile Data:						
Depth	Gamma	Phi	C	K	e50 or Dr	Nspt	Depth	Width	Area	Per.	I	E	Weight
-ft	-lb/f3		-kp/f2	-lb/f3	%		-ft	-in	-in2	-in	-in4	-kp/f2	-kp/f
0	119.8	27.7	0.33	103.7	1.30	5	0,0	80	8064.0	320.0	3439957.3	3000	7.116
2.5	131.9	31.6	0.94	559.4	0.68	15	2,5	80	8064.0	320.0	3439957.3	3000	7.116
5	136.1	35.2	1.94	1423.6	0.44	31	5,0	80	6400.0	320.0	3413333.3	3000	6.667

Vertical capacity:
 Weight above Ground= 0,00 Total Weight= 35,58-kp *Soil Weight is not included
 Side Resistance (Down)= 84,588-kp Side Resistance (Up)= 84,585-kp
 Tip Resistance (Down)= 1360,210-kp Tip Resistance (Up)= 0,000-kp
 Total Ultimate Capacity (Down)= 1444,798-kp Total Ultimate Capacity (Up)= 120,165-kp
 Total Allowable Capacity (Down)= 722,399-kp Total Allowable Capacity (Up)= 77,872-kp
 N/G! Qallow < Q

Settlement Calculation:
 At Q= 820,00-kp Settlement= 1,63045-in
 At Xallow= 1,00-in Qallow= 597,51257-kp

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

Gambar 3. Analisis Daya Dukung Aksial Menggunakan Allpile

4.4. Analisis Potensi Likuifaksi Tanah Akibat Gempa

Analisis likuifaksi dilakukan dengan menghitung rasio tegangan siklik (CSR), rasio ketahanan siklik (CRR), dan faktor keamanan (FS). Hasil menunjukkan lapisan tanah pada kedalaman 0–4 m memiliki nilai faktor keamanan (FS) < 1, sehingga berpotensi mengalami likuifaksi saat terjadi gempa. Berikut merupakan tabel Analisis Potensi Likuifaksi Tanah Akibat Gempa Titik S-1.

Tabel 2. Analisis Potensi Likuifaksi Tanah Akibat Gempa Titik S-1

Depth	Soil Description	qc	amax	σv	σ'v	rd	MWF	CSR	σr	Cq	qcl	CRR	SF	KET
		MPa	m/s2	kN/m2	kN/m2									
0	Clays : clay to silty clay	0,0		0,00	0	1,00		0,00		0,00	0,00	0,04	0,00	Berpotensi Likuifaksi
0,5		1,0		8,91	1	0,99		0,12		3,35	3,29	0,07	0,47	Berpotensi Likuifaksi
1	Silt mixtures : clayey silt & silty clay	2,0		18,08	1	0,99		0,25		2,35	4,61	0,08	0,27	Berpotensi Likuifaksi
1,5		4,9		29,22	1	0,98		0,40		1,85	9,07	0,12	0,25	Berpotensi Likuifaksi
2	Sand mixtures : silty sands to sandy silt	8,8	0,25	38,91	1	0,97	0,84	0,53	100	1,60	14,15	0,16	0,26	Berpotensi Likuifaksi
2,5		10,8		48,83	1	0,96		0,66		1,43	15,44	0,17	0,22	Berpotensi Likuifaksi
3	Sands : clean sands to silty sands	12,7		58,79	1	0,96		0,78		1,30	16,63	0,18	0,19	Berpotensi Likuifaksi
3,5		14,7		68,78	1	0,95		0,91		1,21	17,74	0,19	0,18	Berpotensi Likuifaksi
4		16,7		78,79	1	0,94		1,03		1,13	18,78	0,20	0,16	Berpotensi Likuifaksi

Berikut merupakan tabel hasil perbandingan analisis daya dukung aksial fondasi sumuran menggunakan perhitungan manual dan *Software Allpile*.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Analisis Daya Dukung Aksial Fondasi Sumuran

KESIMPULAN PERBANDINGAN DAYA DUKUNG AKSIAL MANUAL DAN SOFTWARE ALLPILE							
Metode	Desain	Diameter Tiang	Kedalaman Tiang	Qult	Qall	Qdes	KONTROL
		(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kN)	
Perhitungan Empiris	1	0,8	5	7531,49	3012,6	820	PONDASIAMAN
	2	1	5	9830,02	3932,01	820	PONDASIAMAN
	3	1,2	5	12294,81	4917,93	820	PONDASIAMAN
Software Allpile	1	0,8	5	1444,798	722,399	820	TIDAK AMAN
	2	1	5	2205,182	1102,591	820	PONDASIAMAN
	3	1,2	5	3123,168	1561,584	820	PONDASIAMAN

4.5. Analisis Daya dukung Lateral Fondasi Sumuran

Berdasarkan hasil perhitungan, daya dukung lateral meningkat dengan bertambahnya diameter, Q_u naik dari 1045,04 kN menjadi 1567,55 kN, Q_{all} dari 418,016 kN menjadi 627,02 kN, dan M_{max} dari 3483,45 kNm menjadi 5225,18 kNm. Berikut merupakan tabel hasil analisis daya dukung lateral fondasi sumuran.

Tabel 4. Analisis Daya Dukung Lateral Fondasi Sumuran

Diameter (m)	0,8	1	1,2
Q_u (kN)	1045,04	1306,3	1567,55
Q_{all} (kN)	418,016	522,52	627,02
M_{max} (kNm)	3483,45	4354,32	5225,18

4.6. Analisis Penurunan Fondasi Sumuran

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai penurunan total fondasi sumuran menurun seiring dengan bertambahnya diameter. Penurunan terbesar terjadi pada diameter 0,8 m sebesar 11,668 mm, sedangkan penurunan terkecil terjadi pada diameter 1,2 m sebesar 8,324 mm. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar diameter fondasi, semakin kecil penurunan yang terjadi.

Tabel 5. Analisis Penurunan Fondasi Sumuran

Diameter (m)	0,8	1	1,2
S 1 (m)	0,000029	0,000018	0,0000131
S 2 (m)	0,009681	0,007754	0,006458
S 3 (m)	0,001958	0,001902	0,001853
S total (mm)	11,668	9,674	8,324

4.7. Defleksi Fondasi Sumuran

Hasil Menunjukkan bahwa nilai defleksi fondasi cenderung menurun dengan bertambahnya diameter. Pada diameter 0,8 m, defleksi sebesar 1,93 mm, sedangkan pada diameter 1,2 m hanya sebesar 0,102 mm. Kondisi ini sejalan dengan peningkatan kapasitas lateral dan kekakuan fondasi pada diameter yang lebih besar.

Tabel 6 . Defleksi Fondasi Sumuran

Diameter (m)	0,8	1	1,2
Q_u (kN)	60,4915		
y (mm)	1,93	1,34	0,102

5. Kesimpulan

- Fondasi sumuran dengan panjang tiang 5 m dan variasi diameter 0,8 m, 1 m dan 1,2 m, sama-sama mampu memikul beban struktur atas sebesar 820 kN. Berdasarkan perhitungan, daya dukung aksial izin masing-masing diameter 3012,6 kN, 3932,01 kN dan 4917,93 kN. Sedangkan untuk yang menggunakan Software Allpile hasil daya dukung aksial izin masing-masing diameter sebesar 722,399 kN, 1102,591 kN dan 1561,584 kN.
- Hasil analisis daya dukung lateral fondasi sumuran dengan menggunakan metode Brooms menunjukkan bahwa daya dukung lateral ultimate masing-masing sebesar 1045,04 kN, 1306,3 kN, dan 1567,55 kN, sedangkan daya dukung lateral izin masing-masing sebesar 418,016 kN, 522,52 kN dan 627,02 kN; Untuk momen lateral maksimum masing-masing sebesar 3483,45 kNm, 4354,32 kNm dan 5225,18 kNm. Fondasi Sumuran mengalami defleksi berkisar 0,1 mm sampai 1,9 mm pada ketiga variasi diameter yang dihitung menggunakan metode Matlock dan Reese.
- Berdasarkan hasil analisis potensi likuifaksi menggunakan metode CSR (Cyclic Stress Ratio) dan CRR (Cyclic Resistance Ratio) terhadap data CPT maka diperoleh bahwa pada titik S-1 hingga kedalaman 4 meter, nilai faktor keamanan terhadap likuifaksi (SF) < 1, Pada kedalaman 0,5 m diperoleh CSR = 0,12, CRR = 0,06, dan SF = 0,47. Kondisi ini menunjukkan bahwa lapisan tanah dari permukaan hingga 4 meter berpotensi mengalami likuifaksi. Oleh karena itu, perlu direncanakan metode stabilisasi tanah atau desain fondasi yang sesuai, agar struktur tetap aman terhadap pengaruh gempa.
- Penurunan fondasi sumuran pada diameter 0,8 m, 1 m dan 1,2 m menunjukkan hasil yang masih memenuhi syarat atau masih dalam batas aman. Berdasarkan analisis secara manual menggunakan metode Vesic, diperoleh nilai penurunan setiap variasi diameter masing-masing sebesar 11,668 mm, 9,674 mm dan 8,324 mm.

Referensi

- Adrianus. (2014). Studi Perencanaan Fondasi Sumuran pada Pembangunan Gedung Apartment Riverside Malang. ITN Malang.
- Banua, J., Riogilang, H., & Rondonuwu, S. G. (2021). Analisis Potensi Likuefaksi Pada Daerah Endapan Danau Tondano. *Jurnal Sipil Statik*, 9(1), 1-10.
- Bowles, Joseph E. (1997). *Foundation Analysis and Design* (Fifth Edition).
- Dalle, Jeffray R., Fabian J. Manoppo, & Steeva G. Rondonuwu. (2022). Analisis Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba Di Tanah Lunak. TEKNO
- Das, B. M. (1983) *Principles of Foundation Engineering*.
- Das, Braja M. dan Sivakugan, Nagaratnam. (2017). *Principles of Foundation Engineering*, Ninth Edition, SI Edition. Boston: Cengage.
- Das, Braja M., Dean Emeritus, dan Khaled Sobhan. (2014, 2010). *Principles of Geotechnical Engineering*, Eight Edition, SI. USA: Cengage Learning.
- Daud, A. F., Sompie, O. B., & Mandagi, A. T. (2024). Analisis Daya Dukung Fondasi Sumuran Pada Pembangunan Gedung Rumah Sakit Liun Kendage Tahuna. *TEKNO*, 22(90), 2231-2237.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *SNI 03-1726-2002: Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. Jakarta : Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Permukiman.
- Ering, I. A., Legrans, R. R., dan Rondonuwu, S. G. (2024). Analisis Daya Dukung Fondasi Rakit dan Fondasi Sumuran pada Konstruksi Gedung Kuliah Jurusan Farmasi FMIPA UNSRAT. *TEKNO*, 22(88), 1001-1011.
- Fellenius, B. H. 2011. *Basics of Foundation Design*. Electronic Edition. Sidney, British Columbia: Bengt H. Fellenius.
- Hardiyanto. (1992). *Teknik Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Hidayatullah, F. K., & Hasani, I. A. 2022. *Analisis Potensi Likuifaksi dengan Data CPT dan SPT Studi Kasus: Tanah Yogyakarta*. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang.
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2008). *Soil liquefaction during earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute.
- Indonesia, S. N. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik. *SNI*, 8460, 2017.
- Kalendesang, Natanael C., Jack H. Ticoh, & Roski R. I. Legrans. (2022). Analisis Penurunan Fondasi Dangkal Menggunakan Program Settle3D (Studi Kasus: SMA Eben Haezer Manado). TEKNO
- Kombaitan, Y. B., Mandagi, A. T., & Sarajar, A. N. (2024). Analisis Geoteknik Lapisan Tanah

- Berdasarkan Data Sondir Studi Kasus: Pembangunan Rumah Sakit GMIM Kaupusan Langowan. *TEKNO*, 22(90), 2361-2371.
- Lapian, T. J., Manoppo, F. J., & Ticoh, J. H. (2022). Studi Perbandingan Desain Fondasi Rakit Dengan Fondasi Tiang Bor Pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi. *TEKNO*, 20(82), 1179-1187.
- Mentang, O. S., Balamba, S., Sompie, O. B., & Sarajar, A. N. (2013). Analisis Penurunan Pada Pondasi Rakit Jenis Pelat Rata Dengan Metode Konvensional. *Jurnal Sipil Statik*, 1(11), 132643.
- Munsir, D. A. F., Manoppo, F. J., & Rondonuwu, S. G. (2024). Analisis Fondasi Tiang Bor Dan Fondasi Rakit Di Tanah Berpotensi Likuifaksi (Studi Kasus: Daerah Pinggiran Jembatan Megawati Kota Manado). *TEKNO*, 22(89), 1811-1820.
- Polii, V., Riogilang, H., & Manaroinsong, L. D. (2024). Analisis Potensi Likuifaksi Pada Ruas Jalan Tol Manado-Bitung (Sta. 9+ 745). *TEKNO*, 22(89), 1523-1532.
- Prakash, Shamsher & Sharma, Hari D. (1990). *Pile Foundation in Engineering Practice*. Canada : John Wiley & Sons, Inc
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Badan Geologi, Kementerian ESDM.
- Robertson, P. K., & Campanella, R. G. (1983). Interpretation of cone penetration tests. Part I: Sand. *Canadian geotechnical journal*, 20(4), 718-733.
- Robertson, P. K., & Wride, C. E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian geotechnical journal*, 35(3), 442-459.
- Sanger, V. H., Sarajar, A. N., & Mandagi, A. T. (2024). Analisis Daya Dukung Tanah Pada Pekerjaan Pembangunan RS. GMIM Kaupusan Langowan. *TEKNO*, 22(89), 1599-1606.
- SNI 8460:2017 "Tata Cara Perencanaan Geoteknik", Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Ticoh dkk (2022). Studi Daya Dukung Izin Tanah Untuk Pondasi Gedung Di Desa Sea, Kec. Pineleng, Kabupaten Minahasa. *TEKNO*.
- Tijow, K. C., Sompie, O. B., & Ticoh, J. H. (2018). Analisis Potensi Likuifaksi Tanah Berdasarkan Data Standart Penetration Test (SPT), Studi Kasus: Dermaga Bitung, Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 6(7), 491-500.
- Tumembow, G. P., Rondonuwu, S. G., & Sarajar, A. N. (2025). Analisis Daya Dukung Bored Pile Pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Kejaksaan Tinggi Tahap II Kota Manado. *TEKNO*, 23(91), 543-551.
- Tumimomor, I. D., Ticoh, J. H., & Manaroinsong, L. D. (2024). Analisis Daya Dukung Fondasi Sumuran Pada Perencanaan Gedung Balai Latihan Kerja Dinas Ketengakerjaan Di Minahasa Utara. *TEKNO*, 22(90), 2373-2379.
- Warouw, A. G. D., Manoppo, F. J., & Rondonuwu, S. G. (2019). Analisis Potensi Likuifaksi dengan Menggunakan Nilai SPT (Studi Kasus: Jembatan Ir. Soekarno Manado). *Jurnal Sipil Statik*, 7(11), 1453-1464.