



Analisis Daya Dukung Tanah Pada Pekerjaan Pembangunan RS. GMIM Kaupusan Langowan

Van H. Sanger^{#a}, Alva N. Sarajar^{#b}, Agnes T. Mandagi^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^avan.halen.sanger300403@gmail.com, ^balva.sarajar@unsrat.ac.id, ^catmandagi@gmail.com

Abstrak

RS GMIM Kaupusan Langowan menggunakan fondasi sumuran untuk memikul beban konstruksi. Dalam penelitian ini, data yang digunakan untuk proses analisis adalah data tanah berupa hasil penyelidikan tanah dengan menggunakan tes sondir atau cone penetration test (CPT). Tahap analisis awal adalah menentukan jenis lapisan tanah dan menghitung korelasi parameter tanah. Kemudian dilakukan analisis daya dukung fondasi sumuran, meliputi analisis daya dukung aksial untuk tahanan selimut lapisan lempung menggunakan metode λ , tahanan selimut lapisan pasir menggunakan persamaan dari Coyle dan Castello dan tahanan ujung lapisan lempung dan pasir menggunakan metode Meyerhof; daya dukung lateral menggunakan metode Brooms, penurunan menggunakan metode Vesic; dan defleksi menggunakan metode Matlock dan Reese. Hasil analisis daya dukung fondasi sumuran dengan panjang tiang 5 m dan variasi diameter 0,8 m, 1 m dan 1,2 m sama-sama mampu memikul beban terbesar struktur atas sebesar 1000 kN dengan daya dukung aksial ultimate masing-masing sebesar 9386.92 kN, 12505.81 kN dan 15933.55 kN; daya dukung aksial izin masing-masing sebesar 3754.77 kN, 5002.32 kN dan 6373.42 kN. Daya lateral fondasi sumuran yang dianalisis menggunakan metode Brooms, didapat daya dukung lateral ultimate masing-masing sebesar 699.26 kN, 805.07 kN dan 883.28 kN; daya dukung lateral izin masing-masing sebesar 279.70 kN, 322.03 kN dan 353.31 kN; dan momen lateral maksimum masing-masing sebesar 2167.71 kNm, 2616.47 kNm dan 3003.14 kNm. Fondasi sumuran mengalami defleksi berkisar 0.0248 m – 0.0283 m pada ketiga variasi diameter yang dihitung menggunakan metode Matlock dan Reese. Penurunan fondasi sumuran pada ketiga diameter fondasi, yakni 0,8 m, 1 m dan 1,2 m memenuhi syarat atau masih dalam batas aman, dengan hasil analisis cara manual menggunakan metode Vesic untuk tiap variasi diameter masing-masing sebesar 23.090 mm, 19.070 mm dan 16.395 mm.

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

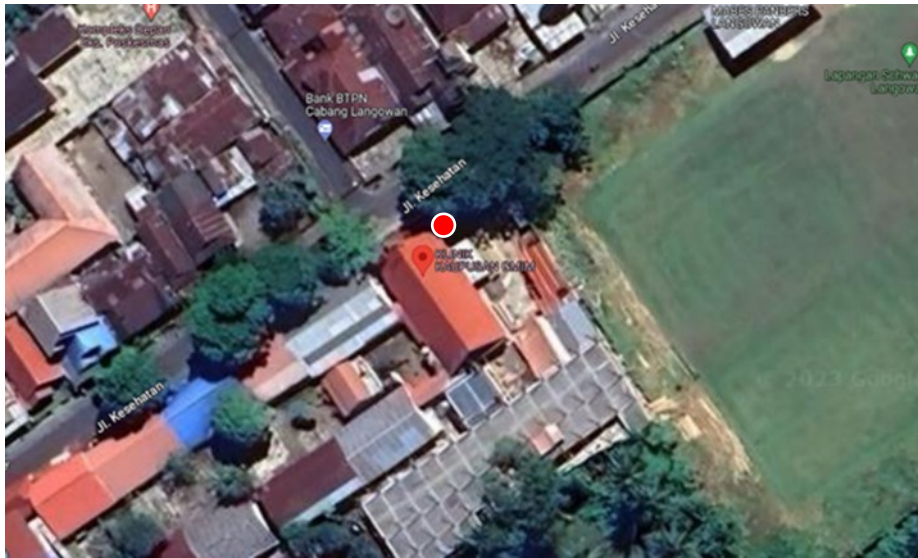
1. Pendahuluan

RS GMIM Kaupusan Langowan merupakan RS dibawah yayasan Gereja Masehi Injili di Minahasa (GMIM). RS ini terletak di Wolaang, Kec. Langowan Utara, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. Dalam memenuhi kebutuhan yang ada, maka dibangunlah gedung baru. Berdirinya konstruksi gedung ini tentunya tidak lepas dari peranan fondasi untuk meneruskan beban ke dalam tanah, serta kemampuan tanah dalam memikul beban yang ada. Pembangunan konstruksi RS GMIM Kaupusan Langowan menggunakan fondasi dalam dengan jenis fondasi sumuran (drilled-shaft foundations). Fondasi sumuran yang digunakan diharapkan dapat menopang beban struktur yang ada, serta penurunan yang akan terjadi berada pada besaran yang dapat ditoleransi. Kondisi tanah yang diperoleh melalui hasil pengujian sondir di lapangan juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan fondasi dalam mendukung beban struktur, serta mempengaruhi besaran penurunan yang akan terjadi nantinya. Perlu dilakukan perhitungan daya dukung dan penurunan dari fondasi sumuran untuk mengetahui apakah jenis fondasi rencana sudah efektif untuk digunakan dalam proyek konstruksi ini. Perhitungan penurunan perlu dilakukan untuk menghindari kemungkinan kerusakan struktural akibat beda laju penurunan fondasi. Pengaruh daya dukung dan penurunan yang terjadi pada fondasi terhadap struktur sangat krusial karena berpotensi menyebabkan kerugian dari segi ekonomi, material

hingga keselamatan pengguna struktur konstruksi.

2. Tahapan Analisis

Penelitian berlokasi di Wolaang, Kec. Langowan Utara, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. Tahapan awal penelitian ini dimulai pengumpulan data, studi literatur mengenai fondasi sumuran, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan daya dukung dan penurunan pada fondasi sumuran. Dalam penelitian ini, data yang digunakan untuk proses analisis adalah data tanah berupa hasil penyelidikan tanah dengan menggunakan tes sondir atau cone penetration test (CPT) pada lokasi pembangunan RS GMIM Kaupusan Langowan. Tahap analisis awal adalah menentukan jenis lapisan tanah dan menghitung korelasi parameter tanah. Kemudian dilakukan analisis daya dukung fondasi sumuran, meliputi analisis daya dukung aksial untuk tahanan selimut lapisan lempung menggunakan metode λ , tahanan selimut lapisan pasir menggunakan persamaan dari Coyle dan Castello dan tahanan ujung lapisan lempung dan pasir menggunakan metode Meyerhof; daya dukung lateral menggunakan metode Brooms, penurunan menggunakan metode Vesic; dan defleksi menggunakan metode Matlock dan Reese. Serta akan dilakukan kontrol beda penurunan (differential settlement) untuk menguji kemampuan struktur bangunan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Maps)

Berikut ini adalah analisis yang dilakukan secara bertahap untuk fondasi sumuran.

- Tahap 1** : menghitung kapasitas dukung fondasi sumuran

$$Q_U = Q_S + Q_P$$
(sumber : Principles of Foundationl Engineering 9th Edition)
 Pada lapisan lempung, untuk Q_s menggunakan metode λ dan Q_p menggunakan metode Meyerhof

$$Q_s = pL(\lambda(\sigma'_v + 2c_u)$$
(sumber : Principles of Foundationl Engineering 9th Edition)

$$Q_p = \frac{1}{4}\pi D^2(9c_u)$$
(sumber : Principles of Foundationl Engineering 9th Edition)
 Pada lapisan pasir, untuk Q_s menggunakan persamaan dari Coyle dan Castello (1981) dan Q_p menggunakan metode Meyerhof

$$Q_s = \sum \pi D L(K\sigma'_v \tan \delta')$$
(sumber : Principles of Foundationl Engineering 9th Edition)

$$Q_p = \frac{1}{4}\pi D^2(q N_q)$$
(sumber : Principles of Foundationl Engineering 9th Edition)
- Tahap 2** : menghitung penurunan fondasi sumuran dengan cara manual menggunakan metode Vesic

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$
(sumber : Principles of Foundationl Engineering 9th Edition)

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \zeta Q_{ws})L}{A_p E_p}$$
(sumber : Principles of Foundationl Engineering 9th Edition)

$$S_2 = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$
(sumber : Principles of Foundationl Engineering 9th Edition)

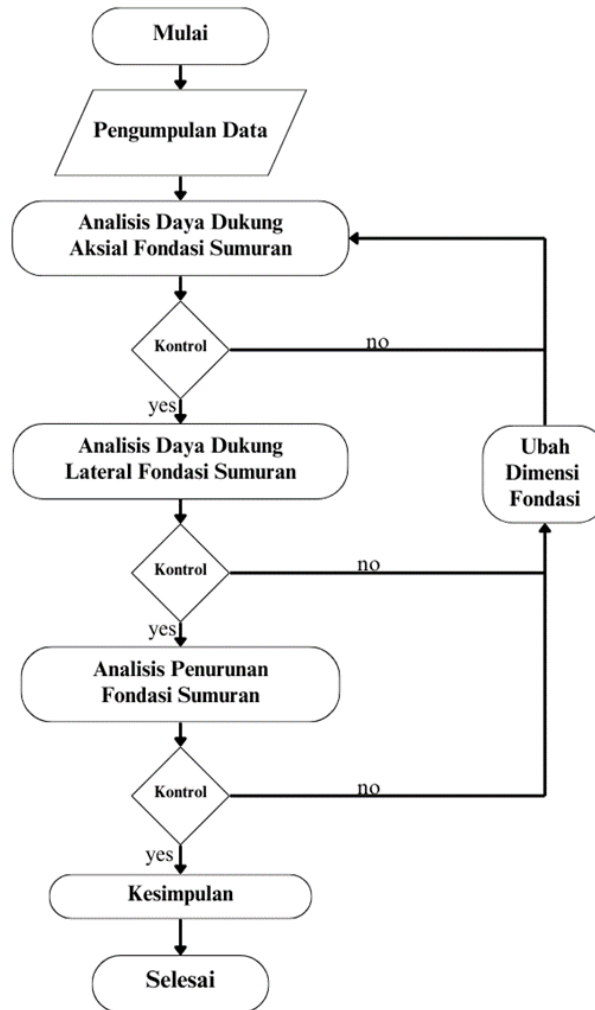
$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{pL}\right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \quad (\text{sumber : Principles of Foundationl Engineering 9th Edition})$$

- **Tahap 3** : menghitung kapasitas dukung lateral fondasi sumuran menggunakan metode Brooms

$$Q_u = 1,5\gamma' L^2 B K_p \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

- **Tahap 4** : menghitung defleksi lateral fondasi sumuran menggunakan metode Matlock dan Reese

$$y_x = C_y \frac{Q_u T^3}{EI} \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengolahan Data Sondir dan Klasifikasi Jenis Lapisan Tanah

Data sondir diolah untuk mengetahui jenis lapisan tanah dan menghitung parameter tanah yang akan digunakan pada perhitungan-perhitungan selanjutnya.

Tabel 1. Hasil Pengolahan Data Sondir dan Klasifikasi Tanah Titik Sondir S4

Depth to	q_c	f_s	R_f	Soil Description	γ	σ_{v0}	ϕ'	c_u	c'	E
m	kPa	kPa		(based on SBT chart)	kN/m ³	kN/m ²	°	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
0.00	0	0	0		0	0	0	0	0	0.00
0.20	0	0	0		0	0	0	0	0	0.00
0.40	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.60	490.33	49.03	10.00	Organic soils - clay	17.21	10.33	0.00	6.19	4.12	1225.83
0.80	490.33	49.03	10.00		17.21	13.77	0.00	26.95	17.97	1225.83
1.00	490.33	49.03	10.00		17.21	17.21	25.60	26.76	17.84	1225.83
1.20	490.33	49.03	10.00		17.21	20.65	25.17	26.58	17.72	1225.83
1.40	490.33	49.03	10.00		17.21	24.10	24.80	26.39	17.59	1225.83
1.60	980.67	49.03	5.00		17.48	27.97	26.10	10.46	6.98	2451.66
1.80	980.67	49.03	5.00		17.48	31.46	25.82	10.44	6.96	2451.66
2.00	980.67	49.03	5.00		17.48	34.96	25.56	10.41	6.94	2451.66
2.20	980.67	49.03	5.00		17.48	38.45	25.34	10.38	6.92	2451.66
2.40	980.67	98.07	10.00	Clay - silty clay to clay	18.28	43.86	25.02	28.20	18.80	2451.66
2.60	1961.33	49.03	2.50		17.74	46.13	26.56	16.76	11.17	4903.33
2.80	1961.33	49.03	2.50		17.74	49.68	26.38	16.73	11.16	4903.33
3.00	1961.33	49.03	2.50		17.74	53.23	26.22	16.71	11.14	4903.33
3.20	1961.33	49.03	2.50		17.74	56.78	26.06	16.69	11.13	4903.33
3.40	1961.33	98.07	5.00		18.54	63.04	25.81	16.77	11.18	4903.33
3.60	2942.00	49.03	1.67	Silt mixtures - clayey silt to silty clay	17.90	64.44	26.73	22.46	14.97	7354.99
3.80	2942.00	98.07	3.33		18.70	71.05	26.49	22.43	14.95	7354.99
4.00	3922.66	49.03	1.25		18.01	72.04	27.15	27.70	18.47	9806.65
4.20	3922.66	98.07	2.50		18.81	78.99	26.93	27.67	18.44	9806.65
4.40	4903.33	49.03	1.00	Sand mixtures - silty sand to sandy silt	18.10	79.62	27.44	32.58	21.72	12258.31
4.60	5883.99	98.07	1.67		18.96	87.23	27.66	37.19	24.79	14709.98
4.80	6864.66	98.07	1.43		19.02	91.30	27.92	41.60	27.73	17161.64
5.00	7845.32	49.03	0.63		18.28	91.38	28.24	45.86	30.57	19613.30
5.20	7845.32	98.07	1.25		19.07	99.18	28.04	45.82	30.55	19613.30
5.40	8825.99	98.07	1.11	Sands - clean sand to silty sand	19.12	103.24	28.23	49.91	33.27	22064.96
5.60	8825.99	98.07	1.11		19.12	107.06	28.14	49.90	33.26	22064.96
5.80	15690.64	147.10	0.94		19.81	114.87	29.34	75.77	50.51	39226.60

3.2 Analisis Fondasi Sumuran

3.2.1. Analisis Kapasitas Dukung Aksial Fondasi Sumuran

Berikut ini adalah data fondasi dan data beban yang akan digunakan dalam proses analisis.

Diketahui :

Panjang Tiang = 5 m

Diameter Tiang = 0,8 m, 1 m dan 1,2 m

Beban Fondasi = 1000 kN (beban terbesar)

Diameter 0,8 m :

- Lapisan pertama (lempung)

Menghitung kapasitas dukung selimut (Q_s) dengan menggunakan metode λ :

$$\begin{aligned}
 Q_s &= Q_s + pL(\lambda(\sigma'_v + 2c_u)) \\
 &= 285,71 + 2,513 \times 5(0,336(17,21 + (2 \times 26,76)))
 \end{aligned}$$

$$Q_s = 298,67 \text{ kN}$$

Menghitung kapasitas dukung ujung (Q_p) dengan menggunakan metode Meyerhof:

$$Q_p = \frac{1}{4} \pi D^2 (9c_u)$$

$$= \frac{1}{4} \pi \times 0,8^2 (9 \times 26,76)$$

$$Q_p = 121,07 \text{ kN}$$

Menghitung kapasitas dukung *ultimate* (Q_U):

$$Q_U = Q_s + Q_p$$

$$= 298,67 + 121,07$$

$$Q_U = 419,74 \text{ kN}$$

Menghitung kapasitas dukung ijin (Q_{all}):

$$Q_{all} = \frac{Q_U}{SF}$$

$$= \frac{419,74}{2,5}$$

$$Q_{all} = 167,90 \text{ kN}$$

- Lapisan keempat (pasir)

Menghitung kapasitas dukung selimut (Q_s) dengan menggunakan persamaan dari Coyle dan Castello (1981) :

$$Q_s = Q_s + pL(K\sigma'_v \tan \delta')$$

$$= 5724,09 + (2,513 \times 5(1,87 \times 116,17 \tan 23,57))$$

$$Q_s = 6916,03 \text{ kN}$$

Menghitung kapasitas dukung ujung (Q_p) dengan menggunakan metode Meyerhof:

$$Q_p = \frac{1}{4} \pi D^2 (q N_q)$$

$$= \frac{1}{4} \pi \times 0,8^2 (95,97 \times 51,22)$$

$$Q_p = 2470,89 \text{ kN}$$

Menghitung kapasitas dukung *ultimate* (Q_U):

$$Q_U = Q_s + Q_p$$

$$= 6916,03 + 2470,89$$

$$Q_U = 9386,92 \text{ kN}$$

Menghitung kapasitas dukung ijin (Q_{all}):

$$Q_{all} = \frac{Q_U}{SF}$$

$$= \frac{9386,92}{2,5}$$

$$Q_{all} = 3754,77 \text{ kN}$$

Resume untuk analisis kapasitas dukung fondasi sumuran pada ketiga variasi diameter dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 1. Hasil Analisis Kapasitas Dukung Aksial Fondasi Sumuran

Diameter	Q_u	Q_{all}	Q_{des}	SF
m	kN	kN	kN	
0,8	9386,92	3754,77		9,38
1	12505,81	5002,32	1000	12,50
1,2	15933,55	6373,42		15,93

3.2.2. Analisis Penurunan Fondasi Sumuran

Analisis penurunan untuk fondasi sumuran akan dihitung menggunakan metode empiris dan menggunakan *software Settle3D*.

Diameter 0,8 m :

Menghitung penurunan batang tiang (S_1):

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \zeta Q_{ws})L}{A_p E_p}$$

$$= \frac{(400+0,5 \times 600)5}{0,503 \times 23500000}$$

$$S_1 = 0,00029 \text{ m} = 0,296 \text{ mm}$$

Menghitung penurunan tiang akibat beban titik (S_2):

$$S_2 = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$= \frac{400 \times 0,8}{25987,62} (1 - 0,3^2) 0,85$$

$$S_2 = 0,01894 \text{ m} = 18,948 \text{ mm}$$

Menghitung penurunan tiang akibat beban yang tersalur sepanjang batang (S_3):

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$= \left(\frac{600}{2,513 \times 5} \right) \frac{0,8}{25987,62} (1 - 0,3^2) 2,875$$

$$S_3 = 0,00384 \text{ mm} = 3,845 \text{ mm}$$

Menghitung penurunan total tiang (S):

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$= 0,000015 + 0,00648 + 0,00137$$

$$S = 0,02309 \text{ m} = 23,090 \text{ mm}$$

Tabel 3. Hasil Analisis Penurunan Fondasi Sumuran

Diameter (m)	0,8	1	1,2
S 1 (mm)	0.00029630	0.00018963	0.00013169
S 2 (mm)	0.01894846	0.01515877	0.01263231
S 3 (mm)	0.00384542	0.00372187	0.00363066
S total (mm)	0.02309018	0.01907027	0.01639466

3.2.3. Analisis Kapasitas Dukung Lateral Fondasi Sumuran

Analisis kapasitas dukung lateral fondasi sumuran dihitung menggunakan metode Brooms.

Diameter 0,8 m:

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p \times I_p}{K_s \times D}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{23500000 \times 0,0201}{7953,48 \times 0,8}}$$

$$R = 2,626$$

Jenis Tiang:

$$\frac{L}{R} = \frac{5}{2,904}$$

$$\frac{L}{R} = 1,904 < 2 \dots \text{Tiang Pendek}$$

Menghitung kapasitas dukung lateral:

$$Q_u = 9c_u B(L - 1,5B)$$

$$= 9 \times 25,56 \times 0,8(5 - 1,5 \times 0,8)$$

$$Q_u = 699,26 \text{ kN}$$

Menghitung momen lateral maksimum:

$$M_{max} = 4,5c_u B(L^2 - 2,25B^2)$$

$$= 4,5 \times 25,56 \times 0,8(5^2 - 2,25 \times 0,8^2)$$

$$M_{max} = 2167,71 \text{ kN.m}$$

Menghitung kapasitas lateral ijin:

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$= \frac{699,26}{2,5}$$

$$Q_{all} = 279,70 \text{ kN}$$

Tabel 2. Hasil Analisis Kapasitas Dukung Lateral Fondasi Sumuran

Diameter	Q_u	Q_{all}	M_{max}
m	kN	kN	kNm
0,8	699.26	279.70	2167.71
1	805.07	322.03	2616.47
1,2	883.28	353.31	3003.14

3.2.4. Analisis Defleksi Lateral Fondasi Sumuran

Defleksi lateral fondasi sumuran dihitung menggunakan metode dari Matlock dan Reese.
Diameter 0,8 m :

Menghitung defleksi:

$$F_y = Q_u = 699,26 \text{ kN}$$

Sehingga:

$$y_x = C_y \frac{Q_u T^3}{EI}$$

$$= 0,926 \frac{699,26 \times 2,626^3}{23500000 \times 0,0201}$$

$$y_x = \mathbf{0,0248 \text{ m} = 24,80 \text{ mm}}$$

Tabel 3. Hasil Analisis Defleksi Lateral Fondasi Sumuran

Diameter	y
m	mm
0,8	24,80
1	27,00
1,2	28,30

3.3. Hasil Analisis Fondasi Rakit dan Fondasi Sumuran

Berdasarkan hasil analisis kapasitas dukung fondasi sumuran memiliki faktor keamanan di atas 3, yang berarti bahwa fondasi sumuran dinyatakan aman untuk digunakan pada proyek konstruksi ini. Dari hasil analisis penurunan, fondasi sumuran juga masih aman atau memenuhi syarat dengan penurunan < 25 mm.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Fondasi sumuran dengan panjang tiang 5 m dan variasi diameter 0,8 m, 1 m dan 1,2 m sama-sama mampu memikul beban terbesar struktur atas sebesar 1000 kN dengan daya dukung aksial *ultimate* masing-masing sebesar 9386.92 kN, 12505.81 kN dan 15933.55 kN; daya dukung aksial izin masing-masing sebesar 3754.77 kN, 5002.32 kN dan 6373.42 kN.
2. Daya dukung lateral fondasi sumuran yang dianalisis menggunakan metode Broome, didapat daya dukung lateral *ultimate* masing-masing sebesar 699.26 kN, 805.07 kN dan 883.28 kN; daya dukung lateral izin masing-masing sebesar 279.70 kN, 322.03 kN dan 353.31 kN; dan momen lateral maksimum masing-masing sebesar 2167.71 kNm, 2616.47 kNm dan 3003.14 kNm. Fondasi sumuran mengalami defleksi berkisar 0.0248 m – 0.0283 m pada ketiga variasi diameter yang dihitung menggunakan metode Matlock dan Reese.
3. Penurunan fondasi sumuran pada tiga variasi diameter fondasi, yakni 0,8 m, 1 m dan 1,2 m memenuhi syarat atau masih dalam batas aman, dengan hasil analisis cara manual menggunakan metode Vesic untuk tiap variasi diameter masing-masing sebesar 23.090 mm, 19.070 mm dan 16.395 mm.

Referensi

- Adrianus. (2014). Studi Perencanaan Fondasi Sumuran pada Pembangunan Gedung Apartment Riverside Malang. *ITN Malang*.
- Bowles, Joseph E. (1997). *Foundation Analysis and Design (Fifth Edition)*. Singapore: McGraw-Hill.
- BSN. (2008). *SNI 2827:2008 " Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan Alat Sondir"*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSN. (2017). *SNI 8460:2017 "Persyaratan Perancangan Geoteknik"*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSN. (2020). *SNI 1727:2020 " Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain"*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Dalle, Jeffray R., Fabian J. Manoppo, & Steeva G. Rondonuwu. (2022). Analisis Fondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba Di Tanah Lunak. *TEKNO*.
- Das, Braja M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M., Dean Emeritus, & Khaled Sobhan. (2014, 2010). *Principles of Geotechnical Engineering, Eight Edition, SI*. USA: Cengage Learning.
- Das, Braja M. & Sivakugan, Nagaratnam. (2017). *Priciples of Foundation Engeneering, Ninth Edition, SI Edition*. Boston: Cengage.
- Ering, Ingrid A., Roski R. I. Legrans & Steeva G. Rondonuwu. (2024). Analisis Kapasitas Dukung Fondasi Rakit dan Fondasi Sumuran pada Konstruksi Gedung Kuliah Jurusan Farmasi FMIPA UNSRAT. *TEKNO*.
- Gobel, Fahreza, Roski R. I. Legrans, & Jack H. Ticoh. (2024). Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok pada Pekerjaan Transmisi Line 150 kV PLTS Terapung PT. PJB Masdar Solar Energi. *TEKNO*.
- Hadiyatmo, Hary C. (1996). *Teknik Fondasi 1*. Jakarta: Gramedia Pusaka Utama.
- Lianto, Felina M., Roski R. I. Legrans, & Jack H. Ticoh. (2023). Studi Kapasitas Fondasi Tiang Bor (Bored Pile) Pada Abutment 2 Jembatan Boulevard II. *TEKNO*.
- Prakash, Shamsheer & Sharma, Hari D. (1990). *Pile Foundations in Engineering Practice*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Roschedy, George, Fabian J. Manoppo, & Agnes T. Mandagi. (2019). Analisis Daya Dukung Fondasi Jembatan GORR I. *Jurnal Sipil Statik*.
- Ticoh dkk (2022). Studi Daya Dukung Izin Tanah Untuk Fondasi Gedung Di Desa Sea, Kec. Pineleng, Kabupaten Minahasa. *TEKNO*.
- Utami, Dinda Pangestu. (2022). Design of Raft Foundation Using Plais 3D V.22 Connect Edition. -.
- Yuflih, Fakhri & Dzikiran, Reyhan R. (2021). Analisis Perbandingan Penggunaan Fondasi Antara Tiang Pancang Dengan Bored Pile Proyek Pembangunan Gedung Dekanat Universitas Wahid Hasyim Semarang. *UNISSULA Institutional Repository*.