



Analisis Kapasitas Dukung Fondasi Rakit Dan Fondasi Sumuran Pada Konstruksi Gedung Kuliah Jurusan Farmasi FMIPA UNSRAT

Inggrid A. Ering^{#a}, Roski R. I. Legrans^{#b}, Steeva G. Rondonuwu^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^ainggridering2@gmail.com, ^blegransroski@unsrat.ac.id, ^csteeva_rondonuwu@yahoo.com

Abstrak

Konstruksi gedung kuliah Jurusan Farmasi FMIPA UNSRAT direncanakan menggunakan fondasi sumuran sebagai konstruksi fondasi gedung. Artikel ini berisi analisis kapasitas dukung fondasi sumuran dan fondasi rakit, dimana fondasi rakit dipilih sebagai alternatif konstruksi fondasi. Data yang digunakan dalam analisis adalah data sekunder berupa hasil analisis pembebanan menggunakan perangkat lunak CSi ETABS, data parameter tanah yang diperoleh melalui korelasi terhadap hasil uji sondir dan data gambar konstruksi gedung kuliah. Tahap analisis diawali dengan i) menentukan jenis lapisan tanah dan parameter tanah melalui korelasi; ii) analisis kapasitas dukung fondasi rakit menggunakan metode Meyerhof pada kondisi *undrained* dan *drained*; iii) analisis penurunan penurunan fondasi rakit menggunakan metode elastis; iv) analisis kapasitas dukung aksial fondasi sumuran menggunakan metode λ dan metode Coyle-Castello untuk tahanan selimut masing-masing pada lapisan lempung dan lapisan pasir, dan tahanan ujung yang menggunakan metode Meyerhof; v) analisis penurunan fondasi sumuran; dan vi) analisis kapasitas dukung lateral menggunakan metode Brooms dan defleksi menggunakan metode Matlock dan Reese. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, fondasi rakit maupun fondasi sumuran sama-sama memenuhi syarat faktor keamanan terhadap kapasitas dukung fondasi ($FK \geq 3$), batas penurunan yang diizinkan (≤ 25 mm) dan batas deformasi lateral fondasi sumuran yang diizinkan (≤ 12 mm).

Kata kunci: fondasi rakit, fondasi sumuran, daya dukung, penurunan, deformasi lateral

1. Pendahuluan

Gedung kuliah Jurusan Kimia FMIPA UNSRAT yang baru, direncanakan memiliki jumlah lantai sebanyak 4 lantai (bertingkat 3 lantai) dan menggunakan sistem fondasi sumuran. Artikel ini berisi tentang studi kapasitas fondasi sumuran dan fondasi rakit sebagai alternatif konstruksi fondasi, yang meliputi analisis daya dukung fondasi, penurunan yang terjadi dan deformasi lateral fondasi sumuran pada beban desain. Efisiensi penggunaan kedua jenis fondasi dalam studi ini adalah membandingkan penurunan masing-masing fondasi akibat beban struktur atas (beban desain). Kelebihan dan kekurangan dari segi biaya, waktu dan metode pelaksanaan pekerjaan masing-masing fondasi memerlukan analisis lebih lanjut yang terkait dengan manajemen konstruksi.

2. Tahapan Analisis

Tahap analisis secara garis besar mengikuti alur yang ditunjukkan pada Gambar 2. Secara rinci, tahapan analisis diuraikan sebagai berikut:

- **Tahap 1** : menghitung pembebanan struktur fondasi rakit dengan *conventional rigid method*
$$q = \frac{Q}{A} + \frac{M_y x}{I_y} + \frac{M_x y}{I_x}$$

(sumber : *Principles of Foundation Engineering 9th Edition*)
- **Tahap 2** : menghitung kapasitas dukung fondasi rakit dengan metode Meyerhof

$q_{ult} = c'N_c s_c d_c i_c + 0,5\gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$ (kondisi *drained*) (sumber : *Principles of Foundation Engineering 9th Edition*)

$q_{ult} = c_u N_c s_c d_c i_c$ (kondisi *undrained*) (sumber : *Principles of Foundation Engineering 9th Edition*)

- **Tahap 3** : menghitung penurunan fondasi rakit dengan cara manual menggunakan metode elastik dari Timoshenko dan Goldier, 1951

$$S_e = q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_s} m I_s I_F \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th Edition})$$

- **Tahap 4** : menghitung penurunan fondasi rakit menggunakan *software Settle3D*

- **Tahap 5** : menghitung kapasitas dukung fondasi sumuran

$$Q_U = Q_S + Q_P \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th Edition})$$

Pada lapisan lempung, untuk Q_s menggunakan metode λ dan Q_p menggunakan metode Meyerhof

$$Q_s = pL(\lambda(\sigma'_v + 2c_u) \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th Edition})$$

$$Q_p = \frac{1}{4}\pi D^2(9c_u) \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th Edition})$$

Pada lapisan pasir, untuk Q_s menggunakan persamaan dari Coyle dan Castello (1981) dan Q_p menggunakan metode Meyerhof

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

$$Q_p = \frac{1}{4}\pi D^2(q N_q) \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th Edition})$$

- **Tahap 6** : menghitung penurunan fondasi sumuran dengan cara manual menggunakan metode Vesic

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (\text{sumber : Principles of Foundation Engineering 9th Edition})$$

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

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

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

- **Tahap 7** : menghitung penurunan fondasi sumuran menggunakan *software Settle3D*

- **Tahap 8** : menghitung kapasitas dukung lateral fondasi sumuran menggunakan metode Brooms

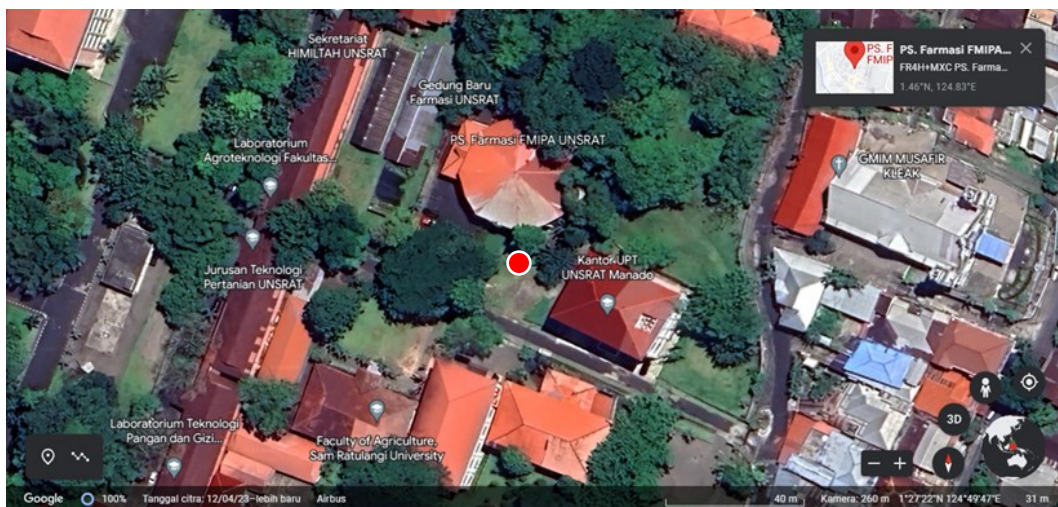
$$Q_u = 1,5\gamma' L^2 B K_p \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

- **Tahap 9** : menghitung defleksi lateral fondasi sumuran menggunakan metode Matlock dan Reese

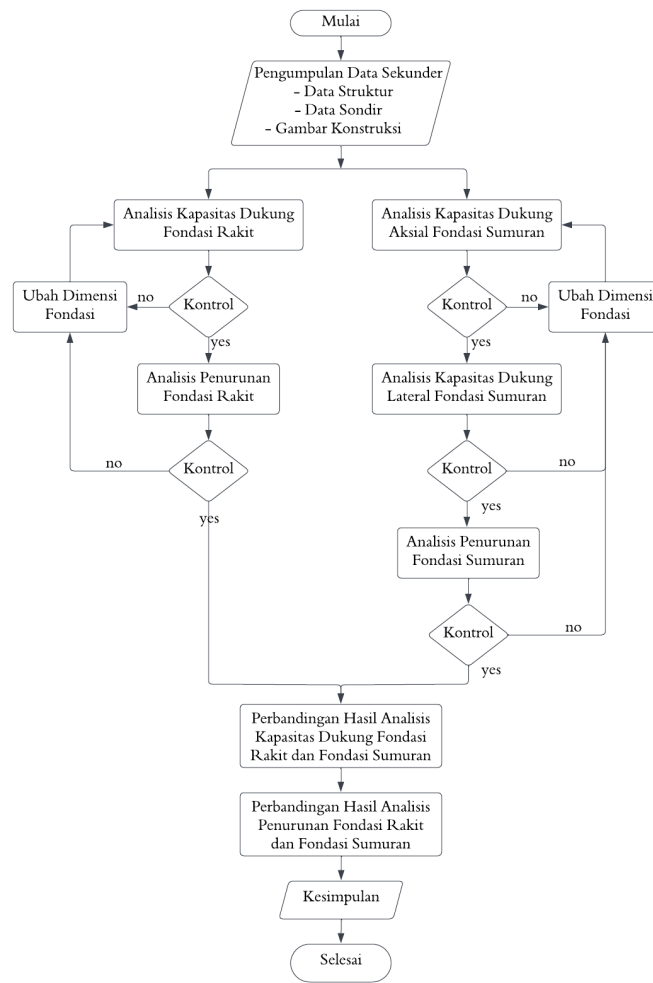
$$y_x = C_y \frac{Q_u T^3}{EI} \quad (\text{sumber : Pile Foundation in Engineering Practice})$$

- **Tahap 10** : membandingkan hasil analisis kapasitas dukung fondasi rakit dan fondasi sumuran

- **Tahap 11** : membandingkan hasil analisis penurunan fondasi rakit dan fondasi sumuran



Gambar 1. Lokasi Konstruksi Gedung Kuliah Jurusan FMIPA UNSRAT
(Sumber: Google Earth)



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perilaku Tanah dan Parameter Kuat Geser Tanah

Perilaku tanah (*soil behavior*) dan parameter kuat geser tanah yang dibutuhkan dalam analisis selanjutnya diperoleh melalui korelasi terhadap hasil sondir seperti yang disarankan oleh Robertson. Korelasi terhadap hasil sondir ditampilkan pada Tabel 1 dengan referensi titik sondir S1.

Tabel 1. Hasil Pengolahan Data Sondir dan Klasifikasi Tanah Titik Sondir S1

Depth <i>to</i>	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	kPa
0	0	0	0	Clays: Clay to silty clay	0	0	0	0	0	0
0,2	981	98	10		18	4	18,8	70	47	2452
0,4	1961	98	5		19	7	20,4	116	78	4903
0,6	2942	98	3	Silt mixtures: Clayey silt to sandy silt	19	11	21,4	71	47	7355
0,8	3923	49	1	Sand mixtures: Silty sand to silty silt	18	14	22,2	30	20	9807
1	6865	98	1		19	19	24,2	42	28	17162
1,2	8826	49	1	Sands: Clean sands to silty sands	18	22	25,0	50	34	22065
1,4	13729	98	1		19	27	26,7	69	46	34323
1,6	17652	98	1		19	31	27,5	83	55	44130

Sumber: Hasil Analisis, 2024

3.2 Analisis Fondasi Rakit

3.2.1. Analisis Pembebanan Struktur Fondasi Rakit

Metode *conventional rigid* digunakan untuk menganalisis pembebanan terhadap struktur fondasi rakit, dengan total gaya aksial adalah $P = 8699,21$ kN.

$$Q = 8699,21 \text{ kN}$$

$$A = 176,51 \text{ m}^2$$

$$I_x = 955,582 \text{ m}^4$$

$$I_y = 7054,82 \text{ m}^4$$

$$M_x = 737,197 \text{ kN.m}$$

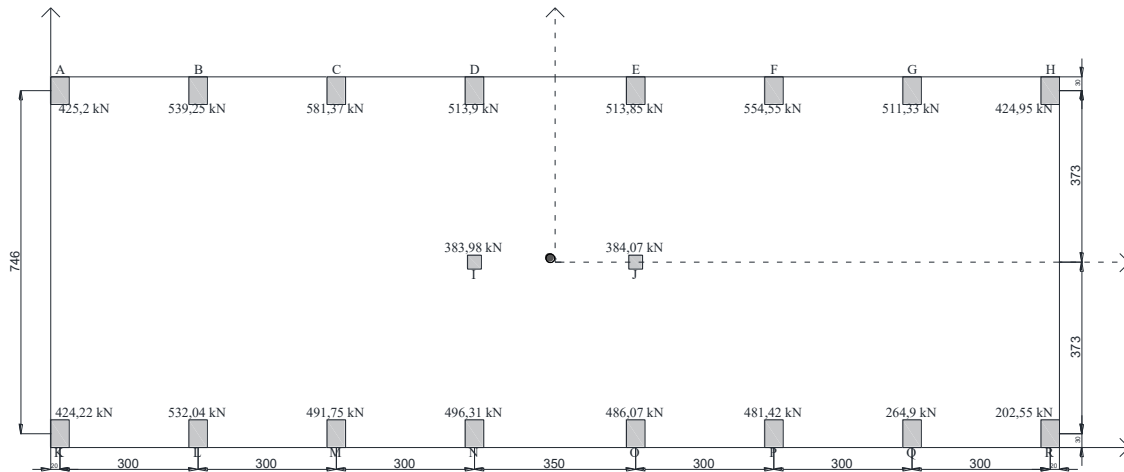
$$M_y = -898,79 \text{ kN.m}$$

$$q = \frac{Q}{A} + \frac{M_y x}{I_y} + \frac{M_x y}{I_x}$$

$$= \frac{8699,21}{176,51} + \frac{(-898,79)x}{7054,82} + \frac{(737,197)y}{955,58}$$

$$q = 23,913 + (-0,04049)x + 0,532538y$$

$$q_{max} = 53,56 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 3. Denah Kolom dan Lokasi Resultan Gaya Fondasi Rakit

3.2.2. Analisis Kapasitas Dukung Fondasi Rakit

Kapasitas dukung fondasi rakit dihitung dengan menggunakan metode Meyerhof pada kondisi *undrained* dan *drained*.

Kondisi *undrained*:

Menghitung kapasitas dukung (*bearing capacity*):

$$q_{ult} = c_u N_c s_c d_c i_c$$

$$q_{ult} = 66,36 \times 5,14 \times 1,074 \times 1,019 \times 1$$

$$q_{ult} = 376,12 \text{ kN/m}^2$$

Menghitung kapasitas dukung dengan pengaruh eksentrisitas:

$$q_{ult,des} = q_{ult} \times R_{ex} \times R_{ey}$$

$$= 376,12 \times 0,98 \times 1,01$$

$$q_{ult,des} = 371,71 \text{ kN/m}^2$$

Menghitung kapasitas dukung izin (*allowable bearing capacity*):

$$q_{all} = \frac{q_{ult,des}}{SF}$$

$$= \frac{371,71}{3}$$

$$q_{all} = 123,90 \text{ kN/m}^2$$

Menghitung besar beban vertikal yang mampu dipikul oleh fondasi:

$$Q_{all} = q_{all} \times A$$

$$= 123,90 \times 178,2$$

$$Q_{all} = 22079,709 \text{ kN}$$

Menghitung faktor keamanan (*safety factors*):

$$SF = \frac{q_{ult,des}}{q_{des}} = \frac{371,71}{53,56}$$

$$SF = 6,94$$

Kontrol:

$$q_{all} > q_{design}$$

$$123,90 \text{ kN/m}^2 > 53,56 \text{ kN/m}^2$$

Kondisi *drained*:

Menghitung kapasitas dukung (*bearing capacity*):

$$q_{ult} = c'N_c s_c d_c i_c + 0,5\gamma BN_{\gamma E} s_{\gamma} d_{\gamma} i_{\gamma}$$

$$q_{ult} = (44,24 \times 8,93 \times 1,109 \times 1,045 \times 1) + (0,5 \times 18,71 \times 8,1 \times 0,56 \times 1,054 \times 1,023 \times 1)$$

$$q_{ult} = 502,99 \text{ kN/m}^2$$

Menghitung kapasitas dukung dengan pengaruh eksentrisitas:

$$q_{ult,des} = q_{ult} \times R_{ex} \times R_{ey}$$

$$= 502,99 \times 0,98 \times 1,01$$

$$q_{ult,des} = 497,09 \text{ kN/m}^2$$

Menghitung kapasitas dukung izin (*allowable bearing capacity*):

$$q_{all} = \frac{q_{ult,des}}{SF}$$

$$= \frac{497,09}{3}$$

$$q_{all} = 165,70 \text{ kN/m}^2$$

Menghitung besar beban vertikal yang mampu dipikul oleh fondasi:

$$Q_{all} = q_{all} \times A$$

$$= 165,70 \times 178,2$$

$$Q_{all} = 29527,37 \text{ kN}$$

Menghitung faktor keamanan (*safety factors*):

$$SF = \frac{q_{ult,des}}{q_{des}} = \frac{497,09}{53,56}$$

$$SF = 9,28$$

Kontrol:

$$q_{all} > q_{design}$$

$$165,70 \text{ kN/m}^2 > 53,56 \text{ kN/m}^2$$

Tabel 2. Hasil Analisis Kapasitas Dukung Fondasi Rakit

Kondisi	q_{ult}	$q_{ult,E}$	q_{all}	Q_{all}	q_{des}	SF	Kontrol
	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN	kN/m ²		SF > 3
<i>Undrained</i>	376,12	371,71	123,90	22079,70	53,56	6,94	Memenuhi
<i>Drained</i>	502,99	497,09	165,70	29527,37	53,56	9,28	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis, 2024

3.2.3. Analisis Penurunan Fondasi Rakit

Analisis penurunan untuk fondasi rakit dihitung dengan cara manual menggunakan metode elastik dari Timoshenko dan Goldier, 1951 dan menggunakan *software Settle3D* akibat beban desain (Q_{des}) dan akibat beban izin (Q_{all}).

Akibat beban desain (Q_{des}):

Menghitung penurunan pada bagian sudut (*corner*):

$$S_{e,corner} = q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_s} m I_s I_F$$

$$= 35,585 \times 8,1 \frac{1-0,3^2}{43668,02} 1 \times 0,0979 \times 0,834$$

$$S_{e,corner} = 0,0004905 \text{ m} = 0,4905 \text{ mm}$$

Menghitung penurunan pada bagian tengah (*center*):

$$\begin{aligned} S_{e,center} &= q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_s} m I_s I_F \\ &= 35,585 \times 4,05 \frac{1-0,3^2}{42855,06} 4 \times 0,2047 \times 0,834 \end{aligned}$$

$$S_{e,center} = 0,0020514 \text{ m} = 2,0514 \text{ mm}$$

Menghitung penurunan diferensial (*differential settlement*):

$$\begin{aligned} \Delta S_e &= S_{e,center} - S_{e,corner} \\ &= 0,0020514 - 0,0004905 \end{aligned}$$

$$\Delta S_e = 0,0015609 \text{ m} = 1,5609 \text{ mm}$$

Akibat beban izin (Q_{all})

Menghitung penurunan pada bagian sudut (*corner*):

$$\begin{aligned} S_{e,corner} &= q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_s} m I_s I_F \\ &= 63,8 \times 8,1 \frac{1-0,3^2}{43870,81} 1 \times 0,1524 \times 0,834 \end{aligned}$$

$$S_{e,corner} = 0,0013631 \text{ m} = 1,3631 \text{ mm}$$

Menghitung penurunan pada bagian tengah (*center*):

$$\begin{aligned} S_{e,center} &= q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_s} m I_s I_F \\ &= 63,8 \times 4,05 \frac{1-0,3^2}{43870,81} 4 \times 0,3455 \times 0,834 \end{aligned}$$

$$S_{e,center} = 0,0061808 \text{ m} = 6,1808 \text{ mm}$$

Menghitung penurunan diferensial (*differential settlement*):

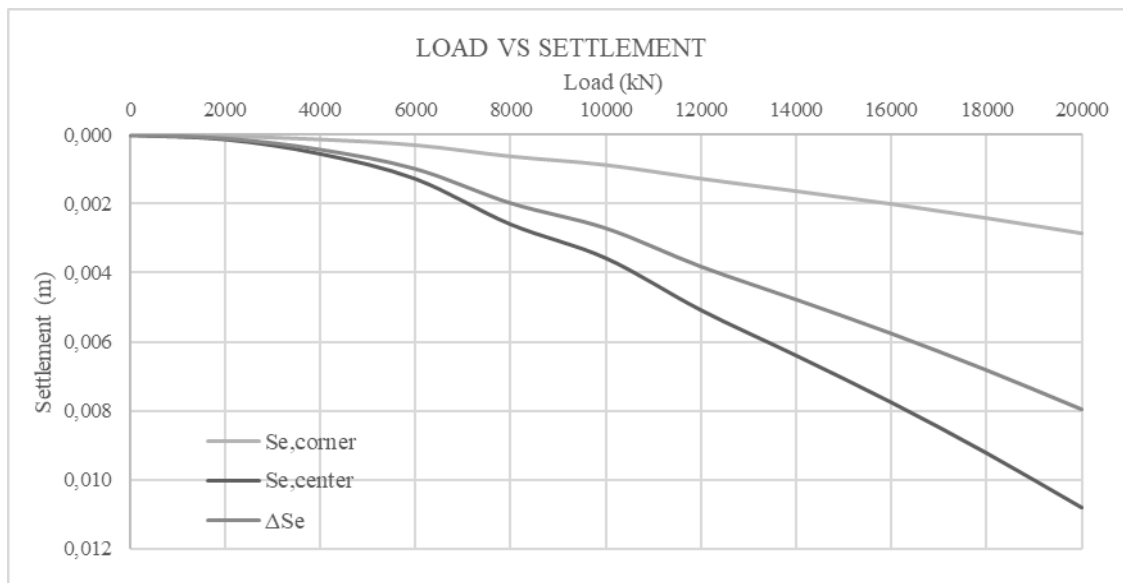
$$\begin{aligned} \Delta S_e &= S_{e,center} - S_{e,corner} \\ &= 0,0061808 - 0,0013631 \end{aligned}$$

$$\Delta S_e = 0,0048177 \text{ m} = 4,8177 \text{ mm}$$

Tabel 3. Hasil Analisis Penurunan Fondasi Rakit

	Metode Empiris		Settle3D		
	Q _{des}	Q _{all}	Q _{des}	Q _{all}	
S _{e,corner} (mm)	0,49	1,36	S _{e,corner} (mm)	3,69	11,66
S _{e,center} (mm)	2,05	6,18	S _{e,center} (mm)	3,69	11,66
ΔS _e (mm)	1,56	4,82	ΔS _e (mm)	0,00	0,00

Sumber: Hasil Analisis, 2024



Gambar 4. Kurva Hubungan Penurunan Fondasi Rakit terhadap Pembebanan

3.3 Analisis Fondasi Sumuran

3.3.1. Analisis Kapasitas Dukung Aksial Fondasi Sumuran

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

Diketahui :

Panjang Tiang = 3,5 m

Diameter Tiang = 0.8 m

Beban Fondasi = 581,37 kN (beban terbesar)

- Lapisan pertama (lempung)

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

$$\begin{aligned} Q_s &= Q_s + pL(\lambda(\sigma'_v + 2c_u)) \\ &= 0 + 2,513 \times 3,5(0,3852(3,66 + (2 \times 70,47))) \end{aligned}$$

$$Q_s = 489,96 \text{ kN}$$

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

$$\begin{aligned} Q_p &= \frac{1}{4}\pi D^2(9c_u) \\ &= \frac{1}{4}\pi \times 0,8^2(9 \times 70,47) \end{aligned}$$

$$Q_p = 318,81 \text{ kN}$$

Menghitung kapasitas dukung *ultimate* (Q_U):

$$\begin{aligned} Q_U &= Q_s + Q_p \\ &= 489,96 + 318,81 \end{aligned}$$

$$Q_U = 808,77 \text{ kN}$$

Menghitung kapasitas dukung ijin (Q_{all}):

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_U}{SF} \\ &= \frac{808,77}{2,5} \end{aligned}$$

$$Q_{all} = 323,51 \text{ kN}$$

- Lapisan keempat (pasir)

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

$$\begin{aligned} Q_s &= Q_s + pL(K\sigma'_v \tan \delta') \\ &= 2536,55 + (2,513 \times 3,5(0,55 \times 31,01 \tan 22,03)) \end{aligned}$$

$$Q_s = 2596,74 \text{ kN}$$

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

$$\begin{aligned} Q_p &= \frac{1}{4}\pi D^2(q N_q) \\ &= \frac{1}{4}\pi \times 0,8^2(63,55 \times 37,04) \end{aligned}$$

$$Q_p = 1183,22 \text{ kN}$$

Menghitung kapasitas dukung *ultimate* (Q_U):

$$\begin{aligned} Q_U &= Q_s + Q_p \\ &= 2596,74 + 1183,22 \end{aligned}$$

$$Q_U = 3779,96 \text{ kN}$$

Menghitung kapasitas dukung ijin (Q_{all}):

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_U}{SF} \\ &= \frac{3779,96}{2,5} \end{aligned}$$

$$Q_{all} = 1511,98 \text{ kN}$$

Tabel 4. Hasil Analisis Kapasitas Dukung Aksial Fondasi Sumuran

Diameter	Q_u	Q_{all}	Q_{des}	SF
m	kN	kN	kN	
0,6	2613,12	1045,25		4,49
0,8	3779,96	1511,98	581,37	6,50
1	5094,71	2037,88		8,76

Sumber: Hasil Analisis, 2024

3.3.2. 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):

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

$$= \frac{(232,54 + 0,67 \times 348,82)3,5}{0,503 \times 2205939650}$$

$$S_1 = 0,000015 \text{ m} = 0,015 \text{ mm}$$

Menghitung penurunan tiang akibat beban titik (S_2):

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

$$= \frac{462,64 \times 0,8}{44129,93} (1 - 0,3^2) 0,85$$

$$S_2 = 0,00648 \text{ m} = 6,487 \text{ mm}$$

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

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

$$= \left(\frac{348,82}{2,51 \times 3,5} \right) \frac{0,8}{44129,93} (1 - 0,3^2) 2,73$$

$$S_3 = 0,00137 \text{ m} = 1,374 \text{ mm}$$

Menghitung penurunan total tiang (S):

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

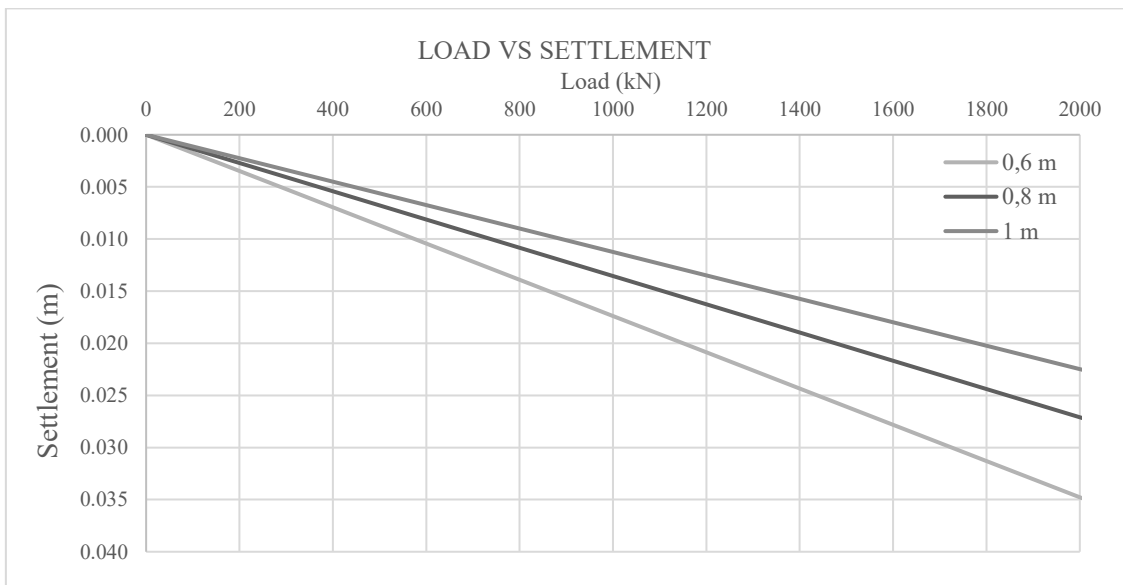
$$= 0,000015 + 0,00648 + 0,00137$$

$$S = 0,00788 \text{ m} = 7,877 \text{ mm}$$

Tabel 5. Hasil Analisis Penurunan Fondasi Sumuran

Diameter	Manual	Settle3D
m	mm	mm
0,6	10,11	6,50
0,8	7,88	4,90
1	6,54	3,90

Sumber: Hasil Analisis, 2024



Gambar 5. Grafik Penurunan Fondasi Sumuran Terhadap Beban yang Bekerja

3.3.3. Analisis Kapasitas Dukung Lateral Fondasi Sumuran

Analisis kapasitas dukung lateral fondasi sumuran dihitung menggunakan metode Brooms.

Diameter 0,8 m:

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \times I_p}{\eta_b}}$$

$$= \sqrt[5]{\frac{23500000 \times 0,02}{9000}}$$

$$T = 2,208$$

Jenis Tiang:

$$\frac{L}{T} = \frac{3,5}{2,208}$$

$$\frac{L}{T} = 1,585 < 2 \dots \text{Tiang Pendek}$$

Menghitung kapasitas dukung lateral:

$$Q_u = 1,5 \gamma' L^2 B K_p$$

$$= 1,5 \times 18,072 \times 3,5^2 \times 0,8 \times 2,398$$

$$Q_u = 637,064 \text{ kN}$$

Menghitung momen lateral maksimum:

$$M_{max} = \gamma' L^3 B K_p$$

$$= 18,072 \times 3,5^3 \times 0,8 \times 2,398$$

$$M_{max} = 1486,482 \text{ kN.m}$$

Menghitung kapasitas lateral ijin:

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

$$= \frac{637,064}{2,5}$$

$$Q_{all} = 254,826 \text{ kN}$$

Tabel 6. Hasil Analisis Kapasitas Dukung Lateral Fondasi Sumuran

Diameter	Q_u	Q_{all}	M_{max}
m	kN	kN	kNm
0,6	477,80	191,12	1114,86
0,8	637,06	254,83	1486,48
1	796,33	318,53	1858,10

Sumber: Hasil Analisis, 2024

3.3.4. Analisis Defleksi Lateral Fondasi Sumuran

Defleksi lateral fondasi sumuran dihitung menggunakan metode dari Matlock dan Reese.

Diameter 0,8 m :

Menghitung defleksi:

$$F_y = Q_u = 19,056 \text{ kN}$$

Sehingga:

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

$$= 0,926 \frac{19,056 \times 2,208^3}{23500000 \times 0,0201}$$

$$y_x = 0,0004 \text{ m} = 0,402 \text{ mm}$$

4. Kesimpulan

Umumnya fondasi rakit digunakan pada tanah lunak guna meminimalisir penurunan yang tidak seragam. Namun, berdasarkan hasil uji sondir pada lokasi konstruksi, diketahui bahwa pada kedalaman 1,8 m nilai hambatan konus sudah $> 250 \text{ kg/cm}^2$, yang menyatakan bahwa lapisan tanah pada kedalaman tersebut adalah tanah keras. Dengan demikian penggunaan fondasi rakit tidak tepat untuk konstruksi gedung kuliah berdasarkan hasil uji sondir. Namun, dilakukan

analisis daya dukung fondasi rakit untuk menilai apakah fondasi rakit dapat menjadi alternatif untuk memikul beban konstruksi.

Berdasarkan hasil analisis kapasitas dukung, fondasi rakit dapat memikul beban struktur sebesar 8699,21 kN dengan beban izin pada kondisi *undrained* sebesar 22079,709 kN dan pada kondisi *drained* sebesar 29527,37 kN. Sementara, fondasi sumuran dengan variasi diameter 0,6 m, 0,8 m dan 1m juga dapat memikul beban kolom struktur terbesar, yaitu 581,37 kN dengan beban izin pada masing-masing variasi diameter sebesar 1045,25 kN, 1511,98 kN dan 2037,88 kN. Berdasarkan hasil analisis penurunan, fondasi rakit mengalami penurunan diferensial akibat beban desain sebesar 1,56 mm. Fondasi sumuran dengan ketiga variasi diameter mengalami penurunan tiang pada beban desain masing-masing sebesar 10,11 mm, 7,88 mm dan 6,54 mm.

Hasil analisis kapasitas dukung fondasi rakit dan fondasi sumuran menunjukkan bahwa kedua jenis fondasi memiliki faktor keamanan di atas 3, yang berarti bahwa fondasi dinyatakan aman untuk digunakan. Dari hasil analisis penurunan, kedua jenis fondasi tersebut memenuhi persyaratan penurunan yang diizinkan (< 25 mm). Namun, fondasi rakit mengalami penurunan seragam yang lebih kecil dibandingkan penurunan tiang fondasi sumuran.

Tabel 7. Hasil Analisis Defleksi Lateral Fondasi Sumuran

Diameter	y	Kontrol
m	mm	$y \leq 12$ mm
0,6	0,64	Memenuhi
0,8	0,40	Memenuhi
1	0,28	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Referensi

- Adrianus. (2014). Studi Perencanaan Pondasi Sumuran pada Pembangunan Gedung Apartment Riverside Malang. ITN Malang.
- Bahagianda, Dhyna A. M. (2017). Analisis Desain Pondasi Rakit untuk Bangunan Bertingkat dengan Metode Konvensional (Conventional Rigid Method). Digital Repository UNILA. Retrieved from digilib.unila.ac.id.
- 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. (2019). SNI 1726:2019 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung". 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 Pondasi 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). *Principles of Foundation Engineering*, Ninth Edition, SI Edition. Boston: Cengage.
- 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.
- Hartono. (2017). Perencanaan Pondasi Rakit dan Pondasi Tiang dengan Memperhatikan Differential Settlement "Studi Kasus Gedung Fasilitas Umum Pendidikan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya (UNTAG)". *Jurnal Teknik ITS*.
- 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.
- Legrans, Roski R. I. & Imbar, Sesty. (2011). Tinjauan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Tanah Berlapis Berdasarkan Hasil Uji Penetrasi Standar (SPT). TEKNO-SIPIL.
- 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.
- Manglassa, Tesalonika I., Reky Windah, & Ronny Pandaleke. (2024). Analisis Pengaruh Penambahan Struktur Jembatan Penghubung pada Gedung FMIPA 4 Lantai. TEKNO.
- Mentang, Olivia S. (2013). Analisis Penurunan pada Pondasi Rakit Jenis Pelat Rata dengan Metode Konvensional. Jurnal Sipil Statik.
- Prakash, Shamsheer & Sharma, Hari D. (1990). Pile Foundations in Engineering Practice. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Prilia, Ribka, Fabian J. Manoppo, & Lanny D. K. Manaroinson. (2021). Analisis Fondasi Tiang Bor Dengan PLAXIS 3D (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fakultas Teknik Unsrat Jursan Sipil. TEKNO.
- Roschedy, George, Fabian J. Manoppo, & Agnes T. Mandagi. (2019). Analisis Daya Dukung Pondasi Jembatan GORR I. Jurnal Sipil Statik.
- Sollar dkk. (2019). Pengaruh Tebal Plat Pada Daya Dukung Pondasi Rakit Di Tanah Pasir dan Tanah Lempung Akibat Beban Aksial Statis. TEKNO.
- Surentu, Chintia S., Jack H. Ticoh, & Steeva G. Rondonuwu. (2019). Analisis Pengaruh Fluktuasi Muka Air Tanah Terhadap Displacement Pondasi Sumuran (Studi Kasus : Bantaran Sungai Sario - Manado). TEKNO.
- Ticoh dkk (2022). Studi Daya Dukung Izin Tanah Untuk Pondasi 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.