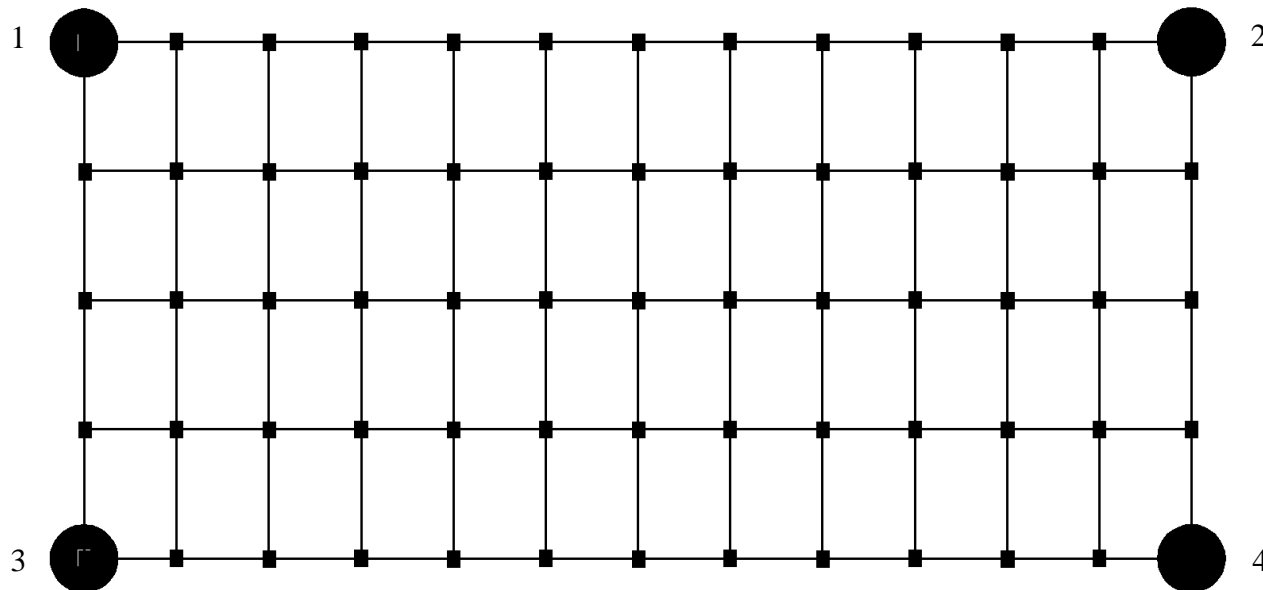


Lampiran 1 Verifikasi Keamanan Model Struktur

VERIFIKASI KEAMANAN MODEL STRUKTUR YANG DIGUNAKAN

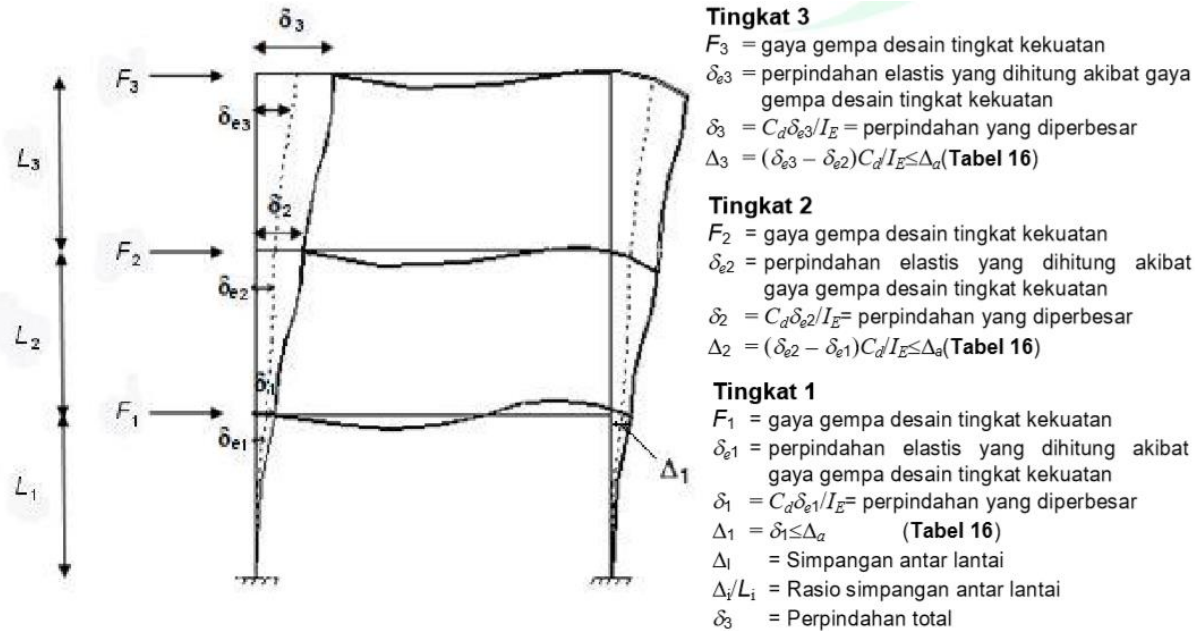
A. Struktur Bangunan Reguler

Keamanan struktur bangunan reguler berbentuk pipih 15 lantai dicek terhadap simpangan antar tingkat, pengaruh P-delta, dan ketidakberaturan torsi yang terjadi pada bangunan yang dihitung sesuai SNI 1726-2012. Denah bangunan reguler beserta titik yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar L-1.1 berikut ini.



Gambar L-1.1 Denah Bangunan Reguler Simpangan di Ujung Bangunan

1. Keamanan Terhadap Simpangan Antar Lantai (*Drift Ratio*) dan Pengaruh P-delta (Menurut SNI 1726-2012)



Gambar L-1.2 Simpangan Antar Lantai (*Drift Ratio*) SNI 1726-2012

- Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1 (fungsi bangunan perkantoran kategori risiko II sesuai SNI 1726-2012).
- Faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5 (struktur beton rangka pemikul momen khusus sesuai SNI 1726-2012).
- Faktor redudansi (ρ) = 1,3 (kategori desain seismik D sesuai SNI 1726-2012).
- Simpangan elastis (Δ) = $\left(\frac{\text{Simpangan lantai } n \times C_d}{I_e} \right) - \left(\frac{\text{Simpangan lantai } n-1 \times C_d}{I_e} \right)$

- h_{sx} = Tinggi lantai/tingkat.
- Δ_{ijin} = $0,02 \times h_{sx}$ (kategori risiko II pada semua struktur lainnya sesuai SNI 1726-2012).

Syarat Keamanan Simpangan Antar Lantai (*Drift Ratio*) adalah nilai $\Delta < \Delta_{ijin}$

- Koefisien Stabilitas (θ) = $\frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V \cdot h_{sx} \cdot C_d}$
- P_x = Beban desain vertikal total pada tingkat tersebut dan tingkat di atasnya dengan faktor beban Dead+Live tanpa koefisien perbesaran (didapat dari Output SAP2000).
- V = Gaya geser seismik yang bekerja pada tingkat tersebut dan tingkat di atasnya yang berasal dari beban gempa (didapat dari Output SAP2000).
- θ_{max} = $\frac{0,5}{\beta \cdot C_d} < 0,25$
- β = Rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser yang nilainya dapat diambil sebesar 1.

Syarat Pengaruh P-delta, yaitu:

- a. bila $\theta < 0,1$ maka pengaruh P-delta tidak perlu diperhitungkan,**
- b. bila $0,1 < \theta < \theta_{max}$ pengaruh P-delta harus diperhitungkan pada struktur, dan**
- c. bila $\theta > \theta_{max}$ maka struktur tidak stabil dan harus didesain ulang.**

Hasil perhitungan cek keamanan struktur bangunan terhadap simpangan antar lantai (*drift ratio*) dan pengaruh P-delta arah x maupun arah y dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2 di bawah ini.

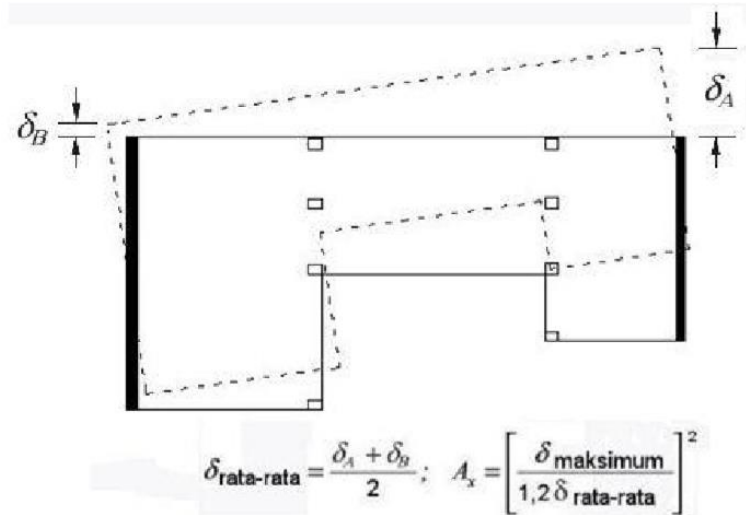
Tabel 1 Keamanan Struktur Bangunan Reguler Terhadap Simpangan Antar Tingkat dan Pengaruh P-delta Arah X

Lantai	hsx (mm)	Px (Ton)	Vx (Ton)	U1 (mm)	Δ (mm)	Δ Ijin (mm)	Cek Δ	θ	θ maks	Cek θ
15	3500	1804,572	113,3911	48,9004	3,1999	53,8462	Aman	0,0026	0,0909	Aman
14	3500	4928,664	300,6485	48,3186	5,8135	53,8462	Aman	0,0050	0,0909	Aman
13	3500	8052,756	462,2524	47,2616	8,7138	53,8462	Aman	0,0079	0,0909	Aman
12	3500	11176,848	601,4102	45,6772	11,4990	53,8462	Aman	0,0111	0,0909	Aman
11	3500	14300,94	723,8763	43,5865	14,0921	53,8462	Aman	0,0145	0,0909	Aman
10	3500	17425,032	831,6835	41,0243	16,4916	53,8462	Aman	0,0179	0,0909	Aman
9	3500	20549,124	927,2956	38,0258	18,7086	53,8462	Aman	0,0215	0,0909	Aman
8	3500	23673,216	1014,4661	34,6243	20,7588	53,8462	Aman	0,0252	0,0909	Aman
7	3500	26797,308	1094,5166	30,8499	22,6488	53,8462	Aman	0,0288	0,0909	Aman
6	3500	29921,4	1168,5239	26,7320	24,3717	53,8462	Aman	0,0324	0,0909	Aman
5	3500	33045,492	1236,9666	22,3008	25,8936	53,8462	Aman	0,0359	0,0909	Aman
4	3500	36169,584	1297,5565	17,5928	27,1230	53,8462	Aman	0,0393	0,0909	Aman
3	3500	39293,676	1348,2852	12,6614	27,7182	53,8462	Aman	0,0420	0,0909	Aman
2	3500	42417,768	1383,7152	7,6217	26,2429	53,8462	Aman	0,0418	0,0909	Aman
1	3500	45541,86	1399,8498	2,8503	15,6765	53,8462	Aman	0,0265	0,0909	Aman

Tabel 2 Keamanan Struktur Bangunan Reguler Terhadap Simpangan Antar Tingkat dan Pengaruh P-delta Arah Y

Lantai	hsx (mm)	Px (Ton)	Vy (Ton)	U2 (mm)	Δ (mm)	Δ_{ijin} (mm)	Cek Δ	θ	θ_{max}	Cek θ
15	3500	1804,572	118,4605	46,9997	4,0548	53,8462	Aman	0,0032	0,0909	Aman
14	3500	4928,664	311,2839	46,2625	6,3865	53,8462	Aman	0,0053	0,0909	Aman
13	3500	8052,756	477,1622	45,1013	9,0572	53,8462	Aman	0,0079	0,0909	Aman
12	3500	11176,848	620,4846	43,4545	11,6640	53,8462	Aman	0,0109	0,0909	Aman
11	3500	14300,94	746,8293	41,3338	14,1016	53,8462	Aman	0,0140	0,0909	Aman
10	3500	17425,032	858,1358	38,7699	16,3510	53,8462	Aman	0,0172	0,0909	Aman
9	3500	20549,124	957,1096	35,7970	18,4178	53,8462	Aman	0,0205	0,0909	Aman
8	3500	23673,216	1047,2376	32,4483	20,3087	53,8462	Aman	0,0238	0,0909	Aman
7	3500	26797,308	1129,7936	28,7558	22,0276	53,8462	Aman	0,0271	0,0909	Aman
6	3500	29921,4	1205,997	24,7508	23,5585	53,8462	Aman	0,0304	0,0909	Aman
5	3500	33045,492	1275,7002	20,4674	24,8499	53,8462	Aman	0,0334	0,0909	Aman
4	3500	36169,584	1336,7422	15,9493	25,7528	53,8462	Aman	0,0362	0,0909	Aman
3	3500	39293,676	1386,8262	11,2669	25,7880	53,8462	Aman	0,0380	0,0909	Aman
2	3500	42417,768	1421,03	6,5782	23,3796	53,8462	Aman	0,0363	0,0909	Aman
1	3500	45541,86	1435,7297	2,3273	12,8004	53,8462	Aman	0,0211	0,0909	Aman

2. Keamanan Terhadap Ketidakberaturan Torsi (Menurut SNI 1726-2012)



Gambar L-1.3 Ketidakberaturan Torsi SNI 1726-2012

Ketidakberaturan torsi ditinjau pada pembebanan dominan x (100% Beban Gempa X + 30% Beban Gempa Y + 100% Beban Torsi) dan pembebanan dominan y (30% Beban Gempa X + 100% Beban Gempa Y + 100% Beban Torsi). Pembebanan dominan x ditinjau pada titik 2 dan titik 3 dan pembebanan dominan y ditinjau pada titik 1 dan titik 2 sesuai pada Gambar L-1.1 di atas.

- Δ_{max} = Simpangan maksimum dan Δ_{avg} = Simpangan rata-rata $\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}$
- Faktor pembesaran torsi (A_x) = $\left(\frac{\Delta_{\text{max}}}{1,2 \Delta_{\text{avg}}} \right)^2 < 3$

Syarat Ketidakberaturan Torsi, yaitu:

- a. bila $\Delta_{\max} < 1,2 \Delta_{\text{avg}}$ maka struktur tanpa ketidakberaturan torsi,
- b. bila $1,2 \Delta_{\text{avg}} < \Delta_{\max} < 1,4 \Delta_{\text{avg}}$ maka terdapat ketidakberaturan torsi pada struktur bangunan, dan
- c. bila $\Delta_{\max} > 1,4 \Delta_{\text{avg}}$ maka terdapat ketidakberaturan torsi yang berlebihan pada struktur.

Hasil perhitungan cek ketidakberaturan torsi arah x maupun arah y dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4 di bawah ini.

Tabel 3 Ketidakberaturan Torsi Arah X

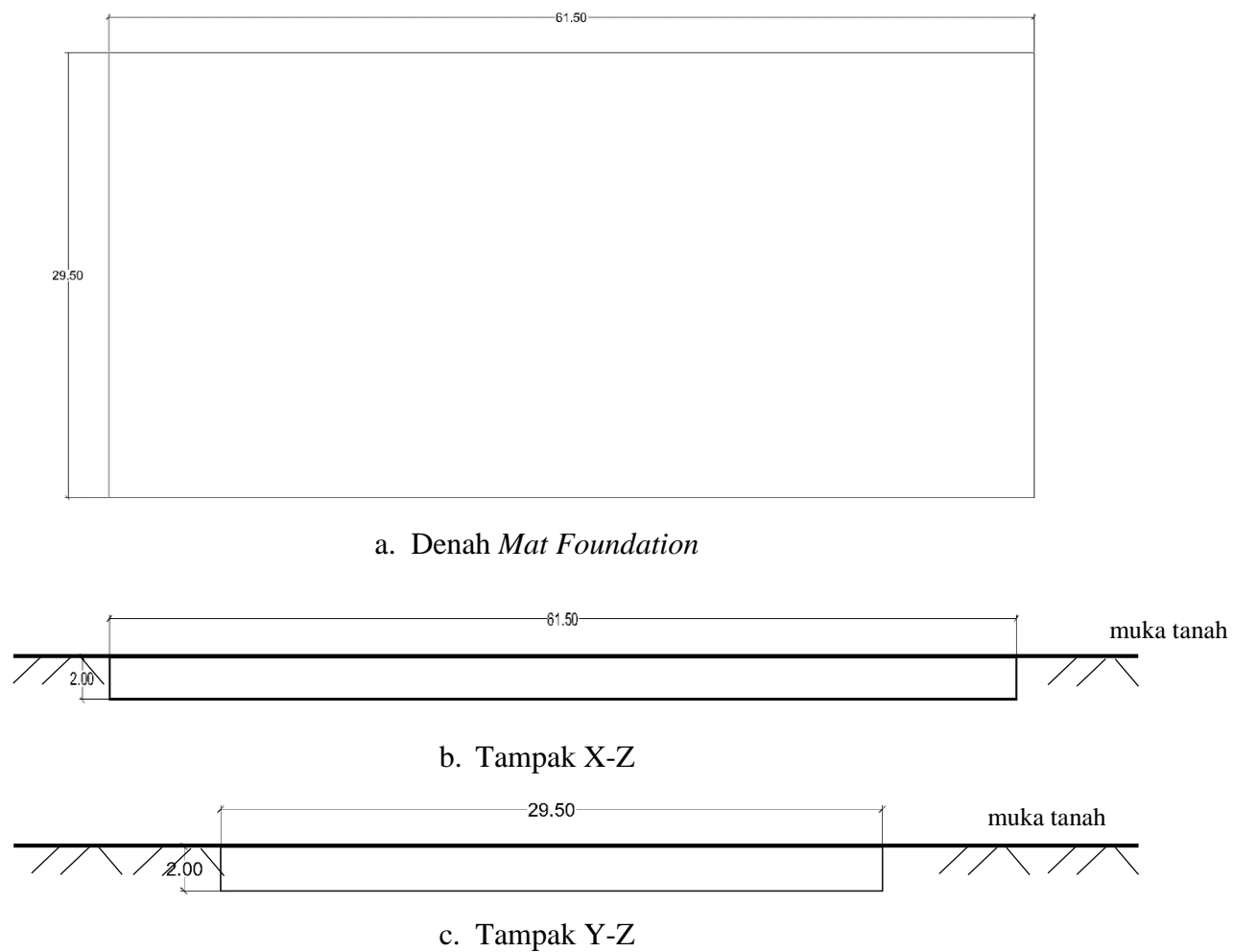
Lantai	TITIK 2		TITIK 3		Δ_{\max} (mm)	Δ_{avg} (mm)	1,2 Δ_{avg} (mm)	1,4 Δ_{avg} (mm)	Cek $\Delta_{\max} <$ 1,2 Δ_{avg}	A_x
	U1 (mm)	Δ (mm)	U1 (mm)	Δ (mm)						
15	68,3067	4,409	74,99104	4,968	4,968	4,689	5,626	6,564	Beraturan	0,7797
14	67,50503	8,045	74,08778	8,991	8,991	8,518	10,222	11,925	Beraturan	0,7738
13	66,04238	12,086	72,453	13,449	13,449	12,767	15,321	17,874	Beraturan	0,7706
12	63,84494	15,976	70,00772	17,720	17,720	16,848	20,218	23,588	Beraturan	0,7682
11	60,94017	19,606	66,78584	21,689	21,689	20,648	24,777	28,907	Beraturan	0,7663
10	57,37535	22,973	62,84234	25,354	25,354	24,163	28,996	33,829	Beraturan	0,7646
9	53,19851	26,088	58,23245	28,735	28,735	27,412	32,894	38,377	Beraturan	0,7631
8	48,45517	28,973	53,00784	31,858	31,858	30,416	36,499	42,582	Beraturan	0,7619
7	43,18732	31,635	47,21542	34,735	34,735	33,185	39,822	46,459	Beraturan	0,7608
6	37,43552	34,063	40,89992	37,356	37,356	35,709	42,851	49,993	Beraturan	0,7600
5	31,24233	36,209	34,10787	39,670	39,670	37,939	45,527	53,115	Beraturan	0,7592
4	24,65887	37,949	26,89519	41,532	41,532	39,741	47,689	55,637	Beraturan	0,7585
3	17,759	38,813	19,34393	42,412	42,412	40,613	48,735	56,858	Beraturan	0,7573
2	10,70202	36,806	11,63266	40,096	40,096	38,451	46,141	53,832	Beraturan	0,7551
1	4,009946	22,055	4,342491	23,884	23,884	22,969	27,563	32,157	Beraturan	0,7508

Tabel 4 Ketidakberaturan Torsi Arah Y

Lantai	TITIK 1		TITIK 2		Δ_{\max} (mm)	Δ_{avg} (mm)	1,2 Δ_{avg} (mm)	1,4 Δ_{avg} (mm)	Cek $\Delta_{\max} <$ 1,2 Δ_{avg}	A_x
	U2 (mm)	Δ (mm)	U2 (mm)	Δ (mm)						
15	61,70186	5,341	76,02585	6,540	6,540	5,940	7,128	8,316	Beraturan	0,8417
14	60,73083	8,341	74,83682	10,372	10,372	9,356	11,228	13,099	Beraturan	0,8534
13	59,21431	11,810	72,95104	14,731	14,731	13,271	15,925	18,579	Beraturan	0,8557
12	57,06705	15,223	70,27265	18,959	18,959	17,091	20,509	23,927	Beraturan	0,8545
11	54,29922	18,433	66,82558	22,893	22,893	20,663	24,795	28,928	Beraturan	0,8525
10	50,94785	21,406	62,66319	26,509	26,509	23,958	28,749	33,541	Beraturan	0,8503
9	47,05591	24,148	57,84332	29,822	29,822	26,985	32,382	37,779	Beraturan	0,8481
8	42,66544	26,663	52,42116	32,848	32,848	29,755	35,706	41,658	Beraturan	0,8463
7	37,81761	28,954	46,44886	35,597	35,597	32,275	38,730	45,185	Beraturan	0,8447
6	32,55332	30,991	39,97672	38,047	38,047	34,519	41,423	48,327	Beraturan	0,8436
5	26,91851	32,703	33,0591	40,118	40,118	36,410	43,692	50,974	Beraturan	0,8431
4	20,97258	33,893	25,76492	41,572	41,572	37,733	45,279	52,826	Beraturan	0,8429
3	14,81014	33,928	18,20644	41,640	41,640	37,784	45,341	52,898	Beraturan	0,8434
2	8,641324	30,732	10,63547	37,780	37,780	34,256	41,107	47,958	Beraturan	0,8447
1	3,053739	16,796	3,766323	20,715	20,715	18,755	22,506	26,257	Beraturan	0,8471

B. Struktur *Mat Foundations*

Mat foundations terletak pada lapisan pertama tanah dengan model *mat foundations* dan data tanah sebagai berikut.



Gambar L-1.4 Model *Mat Foundation*

Data:

Panjang fondasi (L) = 61,5 m

Lebar fondasi (B) = 29,5 m

Tebal dan kedalaman fondasi (h) = 2 m

γ_{beton} = 2,4 T/ m³

Tabel 5 Data Properti Tanah (RS UII)

Lapisan Tanah	Kedalaman (m)	γ_{sat} (kg/m ³)	γ_b (kg/m ³)	e	PI (%)	OCR	ϕ (°)	v
Pasir	6	1828	1800	0,4	0	0	33	0,5
Lanau	12	1957	1800	0,6	20	1	26	0,5
Lanau	17	1820	1800	0,6	21	1	26	0,5
Lempung	20	1960	1800	0,6	25	1	20	0,5
Pasir	24	1895	1800	0,4	0	0	40	0,5
Pasir	26	1895	1800	0,4	0	0	34	0,5

Tabel 6 Data N-SPT Tanah (RS UII)

No	Kedalaman (m)		Nilai N-SPT (N)
1	0	2	14
2	2	4	26
3	4	6	26
4	6	8	35
5	8	10	37,5
6	10	12	36
7	12	14	26
8	14	16	17
9	16	18	20
10	18	20	39
11	20	22	60

Lapis pertama dengan kedalaman muka air tanah -0,8 m memiliki data:

- Jenis tanah = Pasir
- ϕ = 33°
- c = 0 kg/m²
- γ_b = 1800 kg/m³
- γ_{sat} = 1828 kg/m³
- γ_w = 1000 kg/m³

- Cek Keamanan Terhadap Daya Dukung

1. Daya Dukung Tanah Cara Terzaghi (1943).

- a. Penentuan nilai faktor daya dukung terzaghi

Penentuan nilai faktor terzaghi dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7 Nilai Faktor Daya Dukung Terzaghi (1943)

Tabel 3.1 Nilai-nilai faktor daya dukung Terzaghi

ϕ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Dengan nilai $\phi = 33^\circ$ maka digunakan interpolasi dan didapat:

$$N_c = 48,34$$

$$N_q = 32,515$$

$$N_\gamma = 32,225$$

- b. Menghitung tegangan tanah sedalam fondasi

$$q = \gamma' \times h$$

$$= [1800 \times 0,8] + [(1828 - 1000) \times (2 - 0,8)]$$

$$= 2433,6 \text{ kg/m}^2$$

$$= 2,4336 \text{ T/m}^2$$

c. Menghitung tegangan akibat berat fondasi

$$\begin{aligned} q_{\text{mat}} &= \gamma_{\text{beton}} \times h \\ &= 2,4 \text{ T/m}^3 \times 2 \text{ m} \\ &= 4,8 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

d. Menghitung daya dukung ultimit tanah cara Terzaghi (1943) untuk fondasi berbentuk persegi panjang

$$\begin{aligned} q_u &= c \cdot N_c \left(1 + 0,3 \frac{B}{L}\right) + q \cdot N_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \left(1 - 0,2 \frac{B}{L}\right) \\ &= 0 \times 48,34 \left(1 + 0,3 \frac{29,5}{61,5}\right) + 2433,6 \times 32,515 + \\ &\quad 0,5 \times 29,5 \times (1828 - 1000) \times 32,225 \left(1 - 0,2 \frac{29,5}{61,5}\right) \\ &= 434935,9 \text{ kg/m}^2 \\ &= 434,9359 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

e. Menghitung daya dukung ijin tanah dengan mengambil *Safety Factor* (SF)

$$= 3$$

$$\begin{aligned} q_i &= \frac{q_u}{SF} \\ &= \frac{434,9359}{3} \\ &= 144,9786 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

f. Menghitung daya dukung netto tanah

$$\begin{aligned} q_n &= q_i - q_{\text{mat}} \\ &= 144,9786 - 4,8 \\ &= 140,1786 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

2. Beban Bangunan Terhadap Tanah

a. Beban 1 kolom pada fondasi

Analisis pada SAP2000 v14 menghasilkan beban terbesar 1 kolom pada fondasi sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned} P_u &= 915,2097 \text{ Ton} \\ M_{uy} &= 59,5127 \text{ Ton.m} \\ M_{ux} &= 74,786 \text{ Ton.m} \end{aligned}$$

b. Beban kolom total pada bangunan

1) Gaya axial tekan

$$n \text{ kolom} = 65$$

$$\begin{aligned} P_{u,\text{total}} &= P_u \times n \text{ kolom} \\ &= 915,2097 \times 65 \\ &= 59488,632 \text{ Ton} \end{aligned}$$

2) Momen ujung terhadap sumbu y (arah x)

$$n \text{ portal arah y} = 5$$

$$\begin{aligned} M_{uy,\text{total}} &= M_{uy} \times n \text{ portal arah y} \\ &= 59,5127 \times 5 \\ &= 297,5635 \text{ Ton.m} \end{aligned}$$

3) Momen ujung terhadap sumbu x (arah y)

$$n \text{ portal arah x} = 13$$

$$\begin{aligned} M_{ux,\text{total}} &= M_{ux} \times n \text{ portal arah x} \\ &= 74,786 \times 13 \\ &= 972,2182 \text{ Ton.m} \end{aligned}$$

c. Eksentrisitas (e)

1) Arah X

$$\begin{aligned} e_x &= \frac{P_{u,\text{total}}}{M_{uy,\text{total}}} \\ &= \frac{59488,632}{297,5635} \\ &= 0,005 \text{ m (mendekati 0 karena beban bangunan simetris)} \\ &= 0,005 \text{ m} < 1/6 L = 10,25 \text{ m (OK)} \end{aligned}$$

2) Arah Y

$$\begin{aligned} e_y &= \frac{P_{u,\text{total}}}{M_{ux,\text{total}}} \\ &= \frac{59488,632}{972,2182} \\ &= 0,016 \text{ m (mendekati 0 karena beban bangunan simetris)} \\ &= 0,016 \text{ m} < 1/6 B = 4,9167 \text{ m (OK)} \end{aligned}$$

d. Tegangan tanah akibat beban bangunan

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{maks}} &= \frac{P_{u,\text{total}}}{B \times L} + \left(1 + 6 \frac{e_y}{B}\right) + \left(1 + 6 \frac{e_x}{L}\right) \\ &= \frac{59488,632}{29,5 \times 61,5} + \left(1 + 6 \frac{0,016}{29,5}\right) + \left(1 + 6 \frac{0,005}{61,5}\right) \\ &= 33,7935 \text{ T/m}^2 < q_n = 140,1786 \text{ T/m}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{min}} &= \frac{P_{u,\text{total}}}{B \times L} - \left(1 + 6 \frac{e_y}{B}\right) - \left(1 + 6 \frac{e_x}{L}\right) \\ &= \frac{59488,632}{29,5 \times 61,5} - \left(1 + 6 \frac{0,016}{29,5}\right) - \left(1 + 6 \frac{0,005}{61,5}\right) \\ &= 31,7858 \text{ T/m}^2 > 0 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

- Cek Keamanan Terhadap Penurunan

Penurunan Fondasi Metode Meyerhoff (1965) Modifikasi Bowles (1977)

Beberapa nilai yang didapatkan dari perhitungan di atas adalah sebagai berikut.

$$\sigma_{\text{maks}} = 33,7935 \text{ T/m}^2$$

$$q_{\text{mat}} = 4,8 \text{ T/m}^2$$

$$q = 2,4336 \text{ T/m}^2$$

$$\begin{aligned}q_{\text{netto}} &= \sigma_{\text{maks}} + q_{\text{mat}} - q \\ &= 33,7935 + 4,8 - 2,4336 \\ &= 36,1599 \text{ T/m}^2\end{aligned}$$

$$= \frac{36,1599}{(0,49 \times 10)} = 7,3796 \text{ kip/ft}^2$$

$$\begin{aligned}B &= 61,5 \text{ m} \\ &= \frac{61,5 \times 100}{30,48} = 201,7717 \text{ ft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_{\text{rata-rata}} &= \frac{(14+26+26+35+37,5+36+26+17+20+39+60)}{11} \\ &= 30,5909\end{aligned}$$

$$S = \left(\frac{4 \times q_{\text{netto}}}{N_{\text{rata-rata}}}\right) \times \left(\frac{B}{(B+1)}\right)^2 \text{ untuk fondasi dengan } B > 1,2 \text{ m}$$

dengan q_{netto} dalam kip/ft², B dalam ft, dan hasil dalam inch

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{4 \times 36,1599}{30,5909} \right) \times \left(\frac{201,7717}{(201,7717+1)} \right)^2 \\ &= 0,9554 \text{ inch} \\ &= 0,9554 \times 25,4 \\ &= 24,2682 \text{ mm} < 32 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

Batas penurunan *mat foundations* atau *raft foundations* menurut Das (1995) adalah sebesar 32 mm pada tanah pasir maka dapat dikatakan fondasi aman terhadap penurunan.