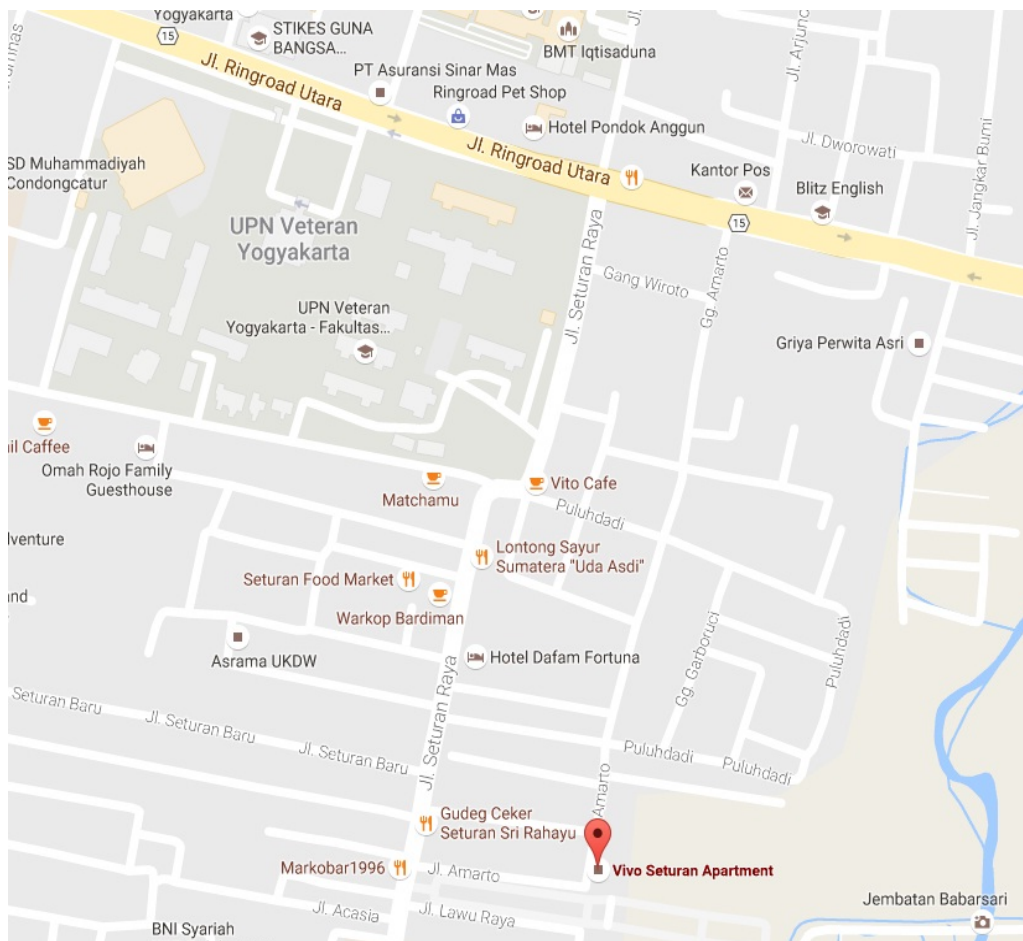


BAB V

ANALISIS KAPASITAS DUKUNG FONDASI TIANG BOR

5.1 DATA STRUKTUR

Apartemen Vivo terletak di seturan, Yogyakarta. Gedung ini direncanakan terdiri dari 9 lantai. Lokasi proyek lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.1.

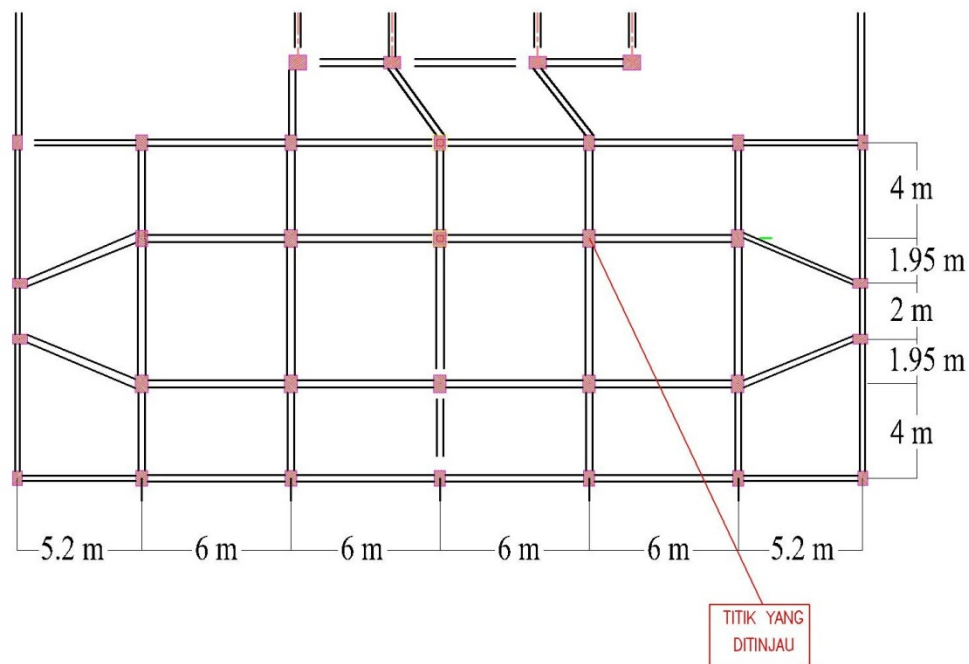


Gambar 5.1 Lokasi Pembangunan Apartemen Vivo Yogyakarta

Sumber : Google Maps

5.1.1 Denah Stuktur Bangunan

Denah struktur bangunan Apartemen Vivo yang ditinjau untuk Tugas Akhir secara rinci dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Denah Struktur Bangunan Apartemen Vivo Yogyakarta

Sumber : Data Proyek Apartemen Vivo Yogyakarta

5.1.2 Struktur Bawah Bangunan

Struktur bawah adalah bagian dari bangunan yang terletak dibawah permukaan tanah. Struktur bawah berguna untuk meneruskan atau mendistribusikan beban dari struktur atas kepada tanah dasar. Pada apartemen Vivo jenis pondasi yang digunakan adalah tiang pancang.

a. Tiang Pancang

Fondasi tiang pancang menggunakan mutu beton $f'c = 29$ MPa dan mutu baja $< \varnothing 12$ mm (BJTP 24) $f_y = 240$ MPa dan mutu baja $> \varnothing 12$ mm (BJTD 40) $f_y = 400$ MPa. Kedalaman tiang pancang adalah 16 m dan digunakan ukuran 25 x 25 cm. Fondasi tiang pancang menggunakan tulangan pokok berukuran D16 mm dan sengkang berukuran P10-200 mm. Fondasi tiang dipancang sebelum pengerjaan lantai kerja dan disatukan menggunakan *pile cap* untuk meningkatkan kekuatan fondasi dalam menstransfer beban struktur ke tanah dasar. *Pile cap* menggunakan penulangan D13-100 mm D16-100 mm dan D17-100 mm dengan mutu beton $f'c = 29$ MPa dan mutu baja $< \varnothing 12$ mm (BJTP 24) $f_y = 240$ MPa dan mutu baja $> \varnothing 12$ mm (BJTD 40) $f_y = 400$ MPa.

b. Balok Ikat (*Tie Beam*)

Balok ikat atau *tie beam* merupakan struktur bagian bawah yang berfungsi untuk mengikat fondasi atau kolom menjadi suatu kesatuan atau rangkaian sehingga meningkatkan kekakuan gedung. Dimensi *tie beam* yang digunakan adalah T10 300 mm x 650 mm.

5.1.3 Struktur Atas Bangunan

Struktur atas bangunan adalah bagian dari bangunan yang terletak diatas permukaan tanah. Pada apartemen Vivo struktur atas terdiri dari balok, kolom, plat lantai, dan atap.

a. Balok

Balok adalah sbagian struktur yang fungsinya menahan beban yang bekerja pada plat, berat dinding, dan beratnya sendiri yang kemudian diteruskan ke kolom. Selain itu, balok juga berfungsi menahan gaya horizontal seperti angin maupun gempa. Ada dua jenis balok yang digunakan yaitu balok induk dan balok anak. Balok memakai mutu beton $f'c = 29$ MPa dan mutu baja $< \emptyset 12$ (BJTP 24) $f_y = 240$ MPa sedangkan mutu baja $> \emptyset 12$ (BJTD 40) $f_y = 400$ MPa. Tipe dan ukuran balok dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Ukuran dan Nama Balok

No	Nama Balok	Ukuran Balok
1	K4, P4, S4	20 x 35 cm
2	SA4	15 x 35 cm
3	P5, S5	20 x 40 cm
4	K7, P7, S7	25 x 50 cm
5	P8, S8	25 x 55 cm
6	K9, P9, S9	30 x 60 cm
7	K9B, P9A, P9B, S9B	40 x 60 cm
8	P9C	50 x 60 cm

b. Kolom

Kolom merupakan bagian struktur yang menahan gaya aksial akibat berat sendiri, beban balok, dan beban dari kolom di atasnya. Beban yang ada di atas plat diteruskan ke balok, kemudian diteruskan ke kolom. Kolom memakai mutu beton $f'c = 29$ MPa dan mutu baja $< \varnothing 12$ (BJTP 24) $f_y = 240$ MPa sedangkan mutu baja $> \varnothing 12$ (BJTD 40) $f_y = 400$ MPa. Tipe dan ukuran kolom dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Ukuran dan Nama Kolom

No	Nama Kolom	Lantai	Ukuran Kolom
1	C1, C3	1 sampai 4	0.7 x 0.5 m
2	C2	1 dan 2	0.65 x 0.45 m
3	C4	1	0.8 x 0.6 m
4	C5	1 sampai 3	0.6 x 0.4 m
5	C1, C3	5 dan 6	0.65 x 0.45 m
6	C2	3 dan 4	0.6 x 0.4 m
7	C4	2 sampai 4	0.7 x 0.5 m
8	C1, C3	7 dan 8	0.6 x 0.4 m
9	C2	5 dan 6	0.55 x 0.35 m
10	C4	5 dan 6	0.65 x 0.45 m
11	C2	7 dan 8	0.5 x 0.3 m
12	C4	7 dan 8	0.6 x 0.4 m

c. Plat Lantai

Plat lantai merupakan bagian struktur yang memikul beban vertical dan sisi-sisinya didukung oleh balok. Tebal plat ditentukan berdasarkan besarnya beban yang akan didukung dan lendutan yang diijinkan, selain itu plat lantai juga rata, kaku, dan lurus agar terasa nyaman untuk berpijak kaki. Pada Proyek Hotel Abadi Yogyakarta, tebal plat lantai dan plat atap sama, yaitu 12 cm. Menggunakan mutu beton $f'c = 29$ MPa dan mutu baja $< \varnothing 12$ (BJTP 24) $f_y = 240$ MPa sedangkan mutu baja $> \varnothing 12$ (BJTD 40) $f_y = 400$ MPa.

5.1.4 Data Geoteknik

Data geoteknik yang digunakan sebelum pembangunan Apartemen Vivo adalah SPT. Dengan data terlampir.

5.2 PERATURAN PEMBEBANAN

Peraturan yang digunakan sebagai acuan pada perhitungan pembebanan di Tugas Akhir ini adalah perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung, Standar Konstruksi Bangunan Indonesia (SKBI) tahun 1987. Isi peraturan yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Beban sendiri bangunan (m^3) :
 - a. berat volume beton bertulang = 24 kN/ m^3
 - b. berat volume pasir = 18.5 kN/ m^3

2. Beban sendiri bangunan dan bahan pendukung (m^2) :
 - a. Berat sendiri ubin = 0.24 kN/ m^2
 - b. Dinding pasangan ½ bata = 2.5 kN/ m^2
 - c. Berat spesi = 0.21 kN/ m^2
 - d. Berat plafon + penggantung = 0.18 kN/ m^2

3. Beban hidup bangunan (m^2) :
 - a. Beban hidup pada plat atap = 1 kN/ m^2
 - b. Beban hidup pada plat lantai = 2.5 kN/ m^2

5.2.1 Kombinasi Pembebanan

Perhitungan menggunakan SAP 2000 diperlukan untuk menggunakan beberapa kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\text{Kombinasi 1} = 1.2 W_D + 1.6 W_L$$

$$\text{Kombinasi 2} = 1.05 W_D + 1.05 W_L + 1.05 E$$

Keterangan :

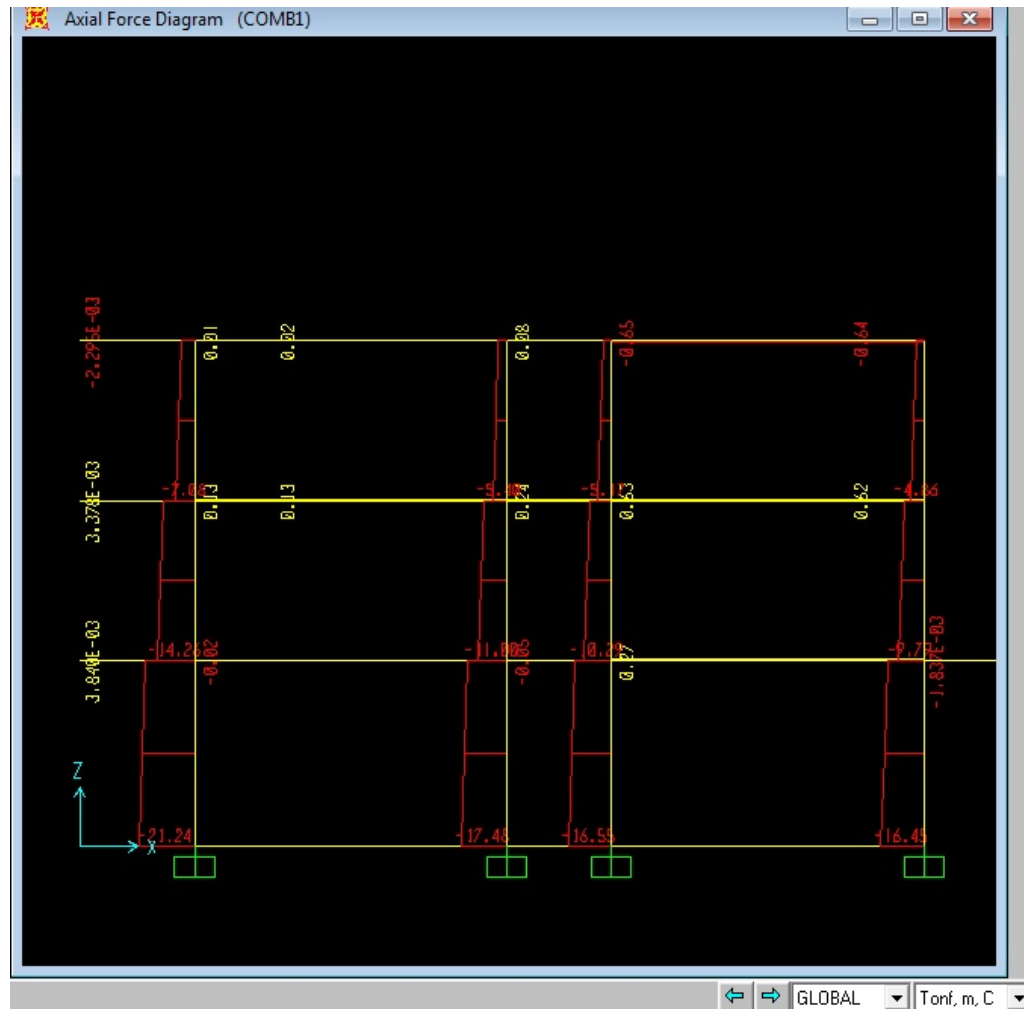
$$W_D = \text{Beban mati}$$

$$W_L = \text{Beban hidup}$$

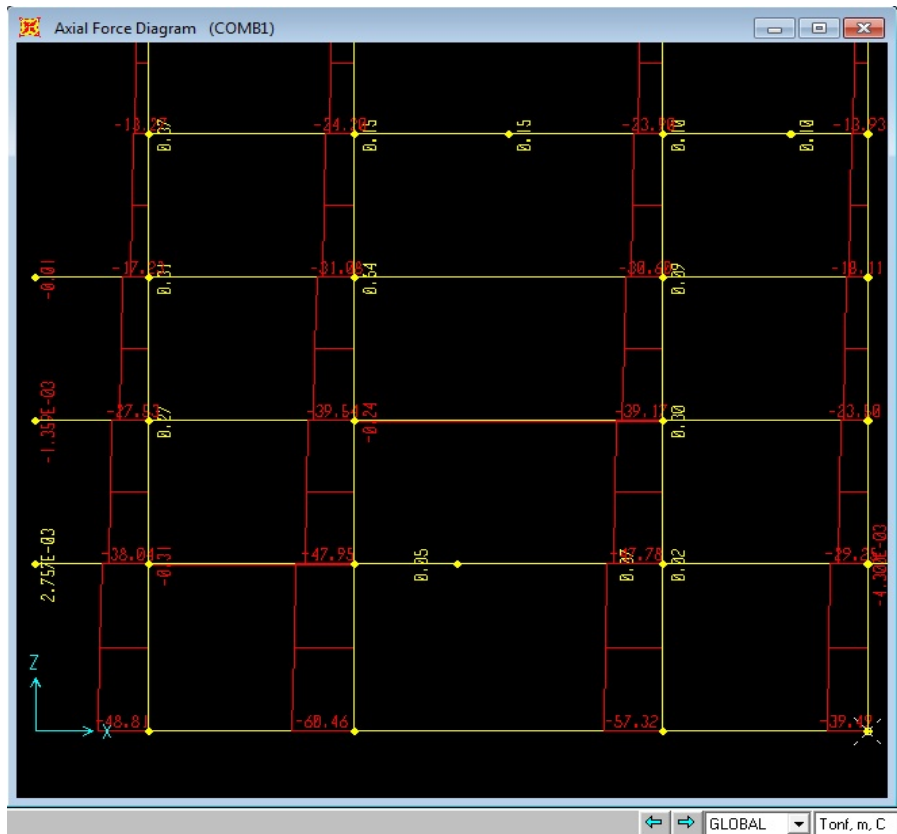
$$E = \text{Beban gempa}$$

5.3 PEMODELAN STRUKTUR

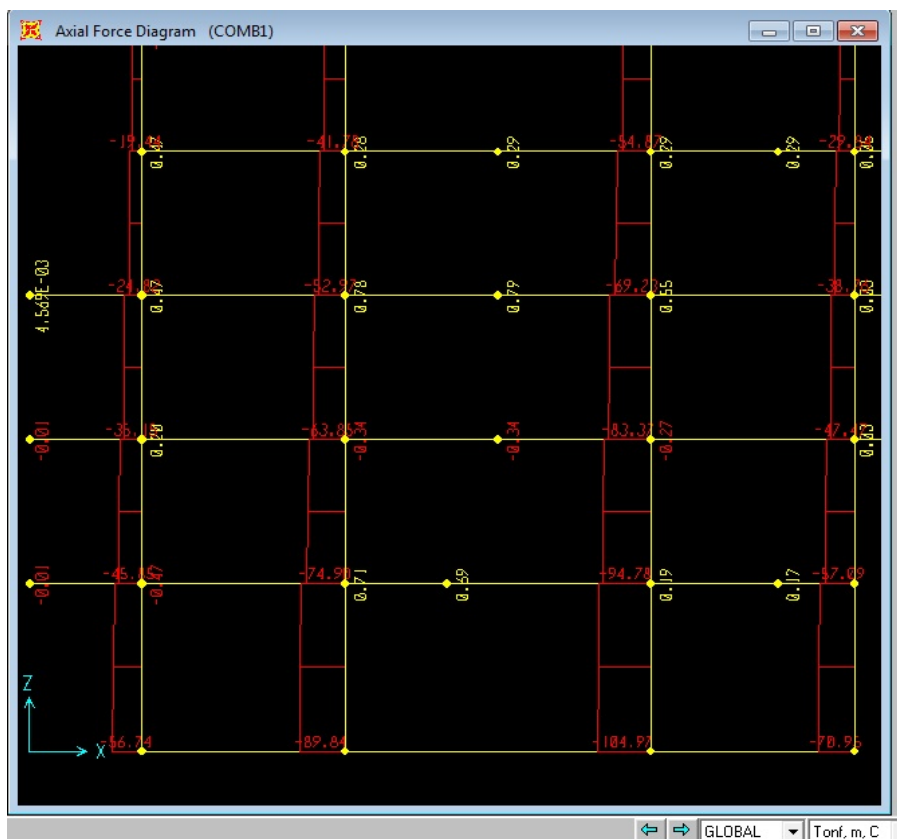
Pemodelan struktur diusahakan dibuat semirip mungkin atau mendekati kondisi struktur yang dianalisis dan dianggap dapat mewakili sifat struktur yang sebenarnya. Hasil dari pemodelan struktur di tampilkan dalam Gambar 5.3 – 5.9 berikut.



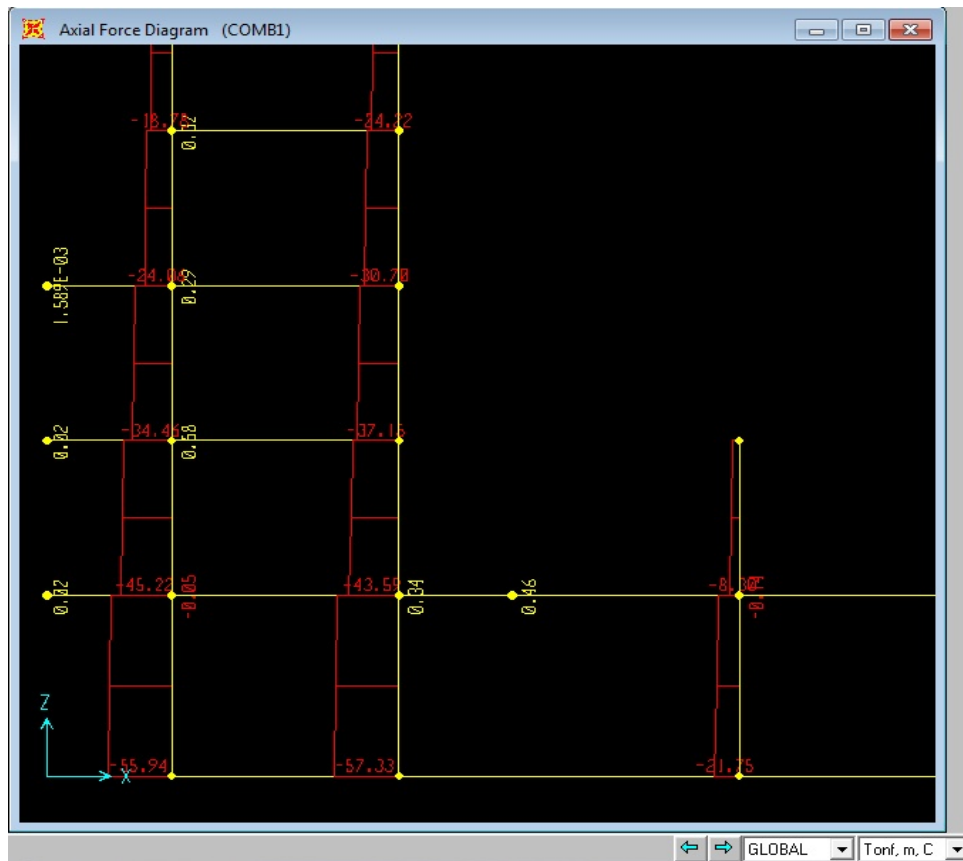
Gambar 5.3 Pemodelan SAP 2000 Portal 1 Arah X



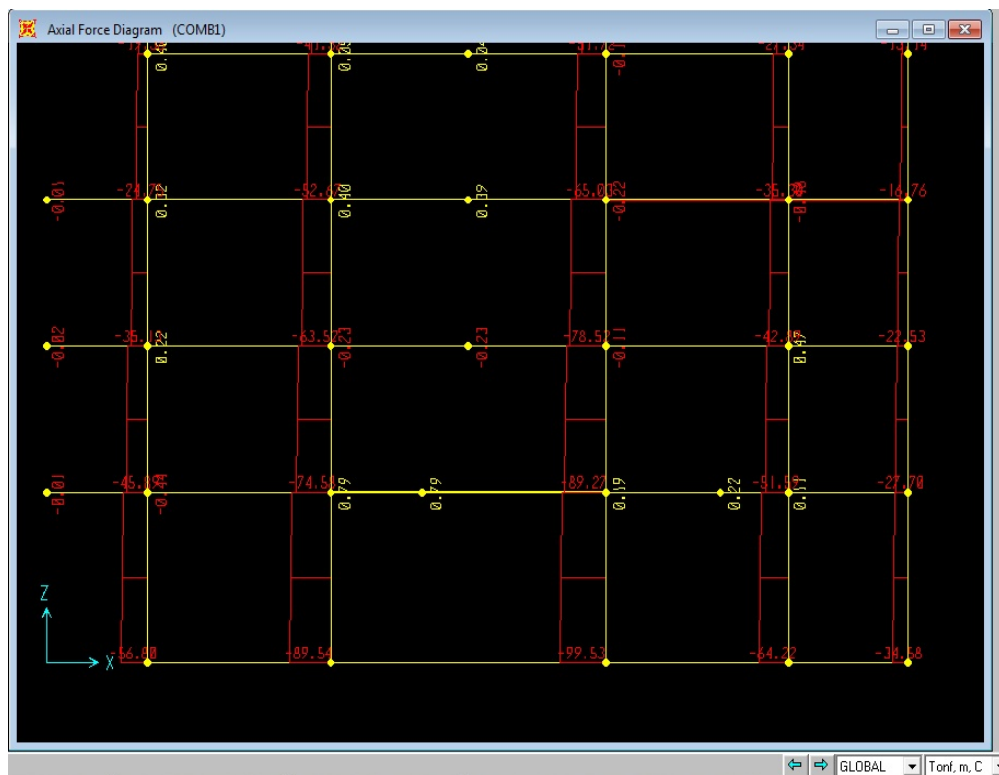
Gambar 5.4 Pemodelan SAP 2000 Portal 2 Arah X



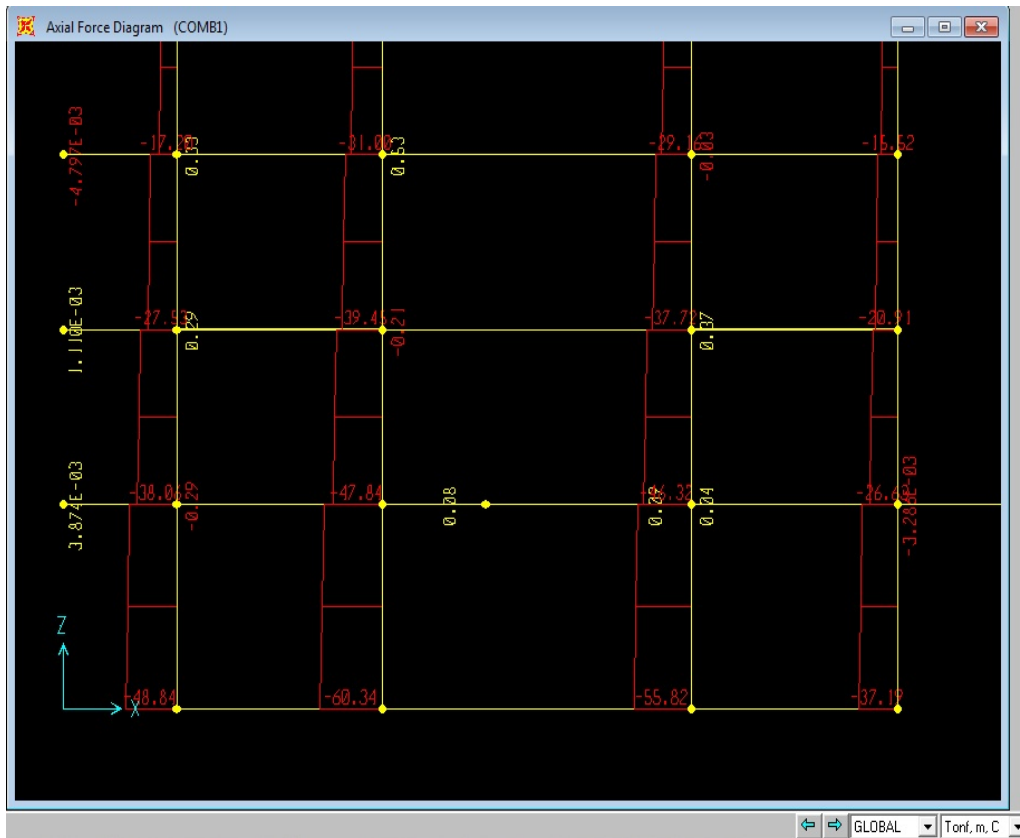
Gambar 5.5 Pemodelan SAP 2000 Portal 3 Arah X



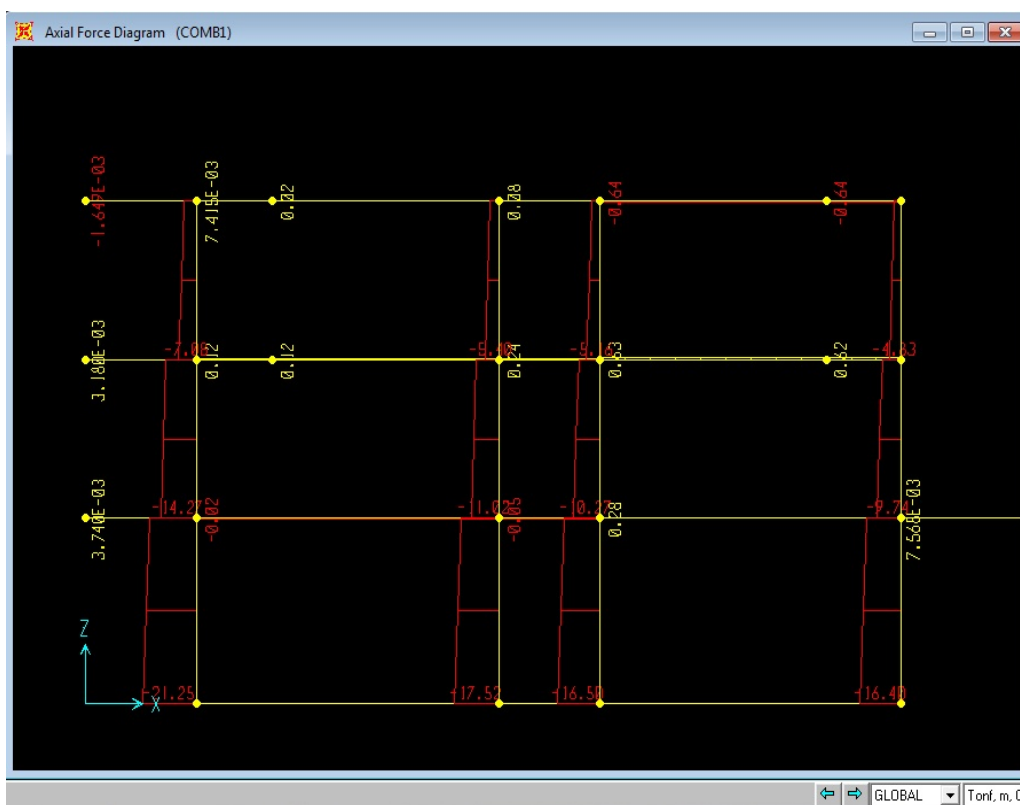
Gambar 5.6 Pemodelan SAP 2000 Portal 4 Arah X



Gambar 5.7 Pemodelan SAP 2000 Portal 5 Arah X



Gambar 5.8 Pemodelan SAP 2000 Portal 6 Arah X



Gambar 5.9 Pemodelan SAP 2000 Portal 7 Arah X

Tabel 5.3 Hasil Pemodelan SAP 2000

Portal	Titik A (Ton)	Titik B (Ton)	Titik C (Ton)	Titik D (Ton)
1	21.24	17.48	16.55	16.45
2	48.81	68.46	57.32	39.49
3	56.74	89.84	104.97	78.96
4	55.94	57.33	21.75	-
5	56.88	89.54	99.53	64.27
6	48.84	60.34	55.82	37.19
7	21.25	17.52	16.58	16.48

Dari Tabel diatas didapatkan hasil pemodelan dengan beban terbesar berada pada Titik 3-C, yaitu sebesar 105 Ton. Berdasarkan hasil tersebut maka Titik podasi yang digunakan dalam analisis Tugas Akhir ini adalah titik 3-C.

5.4 ANALISIS PEMBEBANAN

Analisis pembebanan didapat berdasarkan distribusi pembebanan yang terjadi pada portal yang ditinjau.

5.4.1 Beban pada Atap dan Lantai

1. Beban pada atap

a. Beban hidup pada atap

$$\text{Beban hidup } (W_L) = 1 \text{ kN/m}^2$$

b. Beban mati pada atap

Beban mati (W_D)

$$\text{berat pelat 12 cm} = 0.12 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2.88 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{spesi (lapis kedap air tebal 3 cm)} = 0.03 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 0.72 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{beban air hujan dan lain – lain (asumsi)} = \underline{0.4 \text{ kN/m}^2}_+$$

$$W_D \text{ Atap} = 4 \text{ kN/m}^2$$

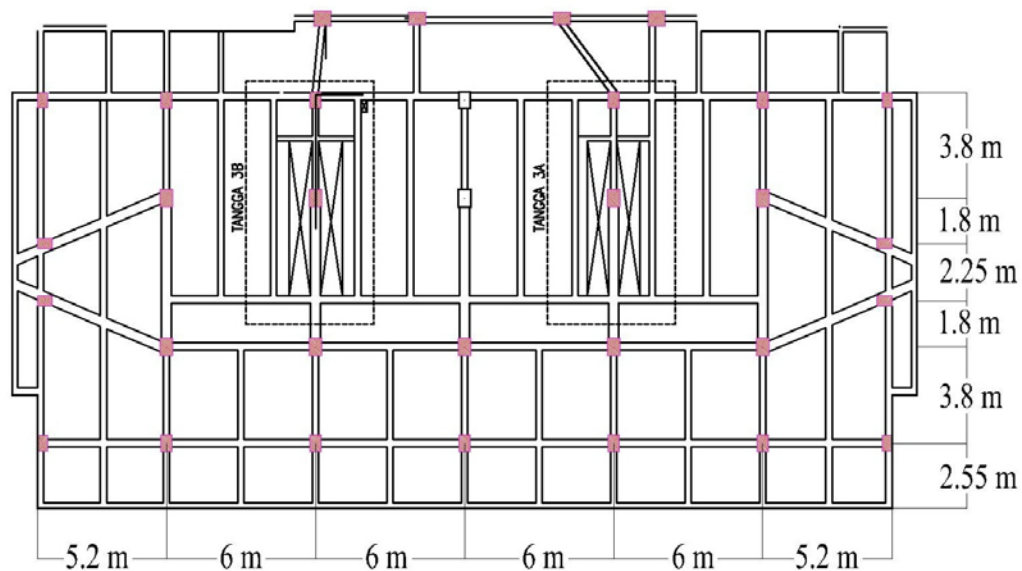
2. Beban lantai

a. Beban hidup pada lantai

- Beban hidup (W_L) = 2.5 kN/m²
- b. Beban mati pada lantai
- Beban mati (W_D)
- | | | |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| berat pelat 12 cm | = 0.12 m x 24 kN/m ³ | = 2.88 kN/m ² |
| pasir urug (tebal 3 cm) | = 0.03 m x 18.5 kN/m ³ | = 0.55 kN/m ² |
| spesi (tebal 3 cm) | = 0.03 m x 18.5 kN/m ³ | = 0.55 kN/m ² |
| keramik | | = 0.24 kN/m ² |
| beban lain – lain (asumsi) | | = <u>0.4 kN/m²</u> + |
| | W_D lantai | = 4.62 kN/m ² |
3. Beban dinding tembok $\frac{1}{2}$ bata = 2.5 kN/m²
4. Berat Jenis pasangan bata merah = 17 kN/m³

5.4.2 Pembebanan

1. Beban lantai 2



Gambar 5.10 Denah lantai 2

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat} &= p \times l \times W_D \text{ Lantai} \\
 &= 34.5 \times 19 \times 0.462 \\
 &= 302.841 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Balok} &= \text{Jumlah} \times b \times h \times l \times B_j \text{ Beton} \\
 &= \{(18 \times 0.2 \times 0.4 \times 2.5) + (12 \times 0.25 \times 0.5 \times 3.85) + \\
 &\quad (11 \times 0.25 \times 0.55 \times 8) + (4 \times 0.3 \times 0.6 \times 6) + \\
 &\quad (13 \times 0.25 \times 0.5 \times 2.5) + (2 \times 0.2 \times 0.4 \times 2.725) + \\
 &\quad (13 \times 0.25 \times 0.5 \times 4.3) + (16 \times 0.3 \times 0.6 \times 6) + \\
 &\quad (4 \times 0.4 \times 0.6 \times 5.4)\} \times 2.4 \\
 &= 59.745 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kolom} &= \text{Jumlah} \times b \times h \times t_{\text{kolom}} \times B_j \text{ Beton} \\
 &= 28 \times 0.75 \times 0.5 \times 3 \times 2.4 \\
 &= 29.4 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Hidup} &= p \times l \times W_{L\text{lantai}} \times \text{faktor reduksi} \\
 &= 34.5 \times 19 \times 0.25 \times 0.5 \\
 &= 81.937 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

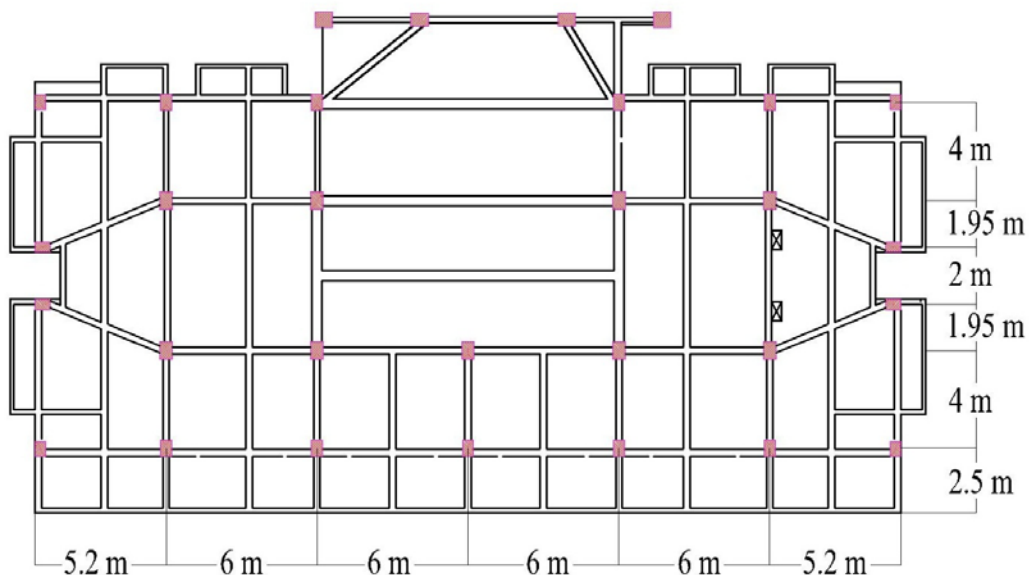
$$\begin{aligned}
 \text{Tembok arah Y} &= t_{\text{tembok}} \times \text{tebal} \times L_{\text{tembok}} \times B_j \text{ Tembok} \\
 &= 3 \times 0.15 \times 122 \times 1.7 \\
 &= 93.33 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tembok arah X} &= t_{\text{tembok}} \times \text{tebal} \times L_{\text{tembok}} \times B_j \text{ Tembok} \\
 &= 3 \times 0.15 \times 117.5 \times 1.7 \\
 &= 89.887 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Berat total lantai 2

$$\begin{aligned}
 W_{\text{total 2}} &= \text{pelat} + \text{balok} + \text{kolom} + \text{beban hidup} + \text{tembok} \\
 &= 302.841 + 59.745 + 29.4 + 81.937 + 93.33 + 89.887 \\
 &= 657.141 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

2. Beban Lantai 3 dan 4



Gambar 5.11 Denah lantai 3 dan 4

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Pelat} &= p \times l \times W_D \text{ Lantai} \\ &= 34.5 \times 19 \times 0.462 \\ &= 302.841 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok} &= \text{Jumlah} \times b \times h \times l \times B_j \text{ Beton} \\ &= \{(12 \times 0.2 \times 0.4 \times 2.5) + (12 \times 0.25 \times 0.5 \times 4.5) + \\ &\quad (6 \times 0.2 \times 0.35 \times 3.1) + (1 \times 0.4 \times 0.6 \times 12) + \\ &\quad (10 \times 0.25 \times 0.35 \times 1.3) + (13 \times 0.25 \times 0.5 \times 2.5) + \\ &\quad (14 \times 0.25 \times 0.5 \times 4.6) + (10 \times 0.25 \times 0.55 \times 6) + \\ &\quad (9 \times 0.3 \times 0.6 \times 5.3) + (4 \times 0.4 \times 0.6 \times 8.925)\} \times 2.4 \\ &= 51.758 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kolom} &= \text{Jumlah} \times b \times h \times t_{\text{kolom}} \times B_j \text{ Beton} \\ &= 28 \times 0.7 \times 0.5 \times 3 \times 2.4 \\ &= 29.4 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Hidup} &= p \times l \times W_{L\text{lantai}} \times \text{faktor reduksi} \\ &= 34.5 \times 19 \times 0.25 \times 0.5 \\ &= 81.937 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tembok arah Y} &= t_{\text{tembok}} \times \text{tebal} \times L_{\text{tembok}} \times B_j \text{ Tembok} \\ &= 3 \times 0.15 \times 82.5 \times 1.7 \end{aligned}$$

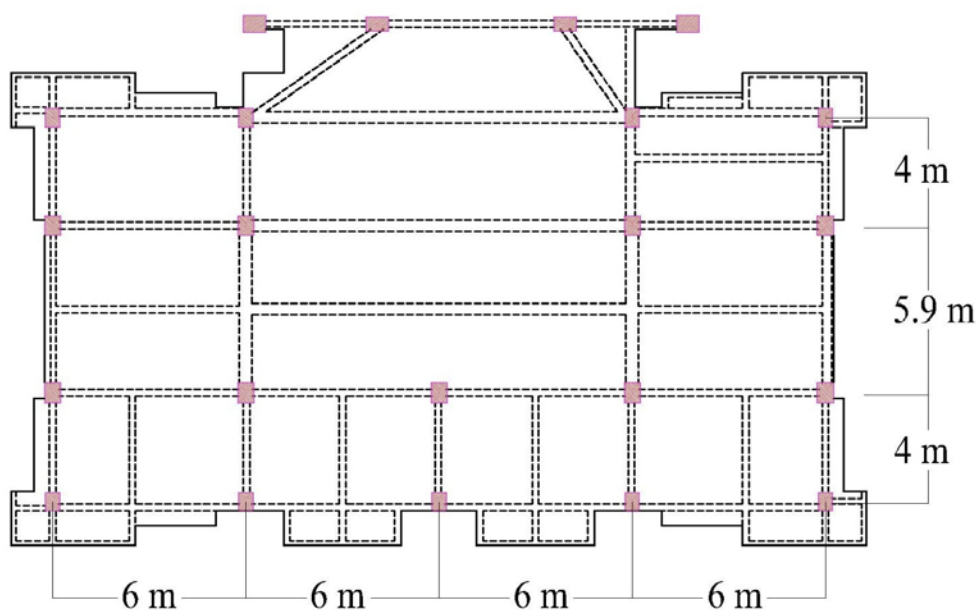
$$= 63.112 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Tembok arah X} &= t_{\text{tembok}} \times \text{tebal} \times L_{\text{tembok}} \times \text{BJ Tembok} \\ &= 3 \times 0.15 \times 91.6 \times 1.7 \\ &= 70 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Berat total lantai 3 dan 4

$$\begin{aligned} W_{\text{total 3-4}} &= (\text{pelat} + \text{balok} + \text{kolom} + \text{beban hidup} + \text{tembok}) \times \\ &\quad \text{Jumlah Lantai} \\ &= (302.841 + 51.758 + 29.4 + 81.937 + 63.112 + 70) \times 2 \\ &= 1198.25 \text{ Ton} \end{aligned}$$

3. Beban Lantai 5 – 8



Gambar 5.12 Denah lantai 5 – 8 dan Atap

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Pelat} &= p \times l \times W_D \text{ Lantai} \\ &= 26 \times 16.5 \times 0.462 \\ &= 198.198 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok} &= \text{Jumlah} \times b \times h \times l \times B_j \text{ Beton} \\ &= \{(4 \times 0.2 \times 0.35 \times 3.8) + (2 \times 0.25 \times 0.5 \times 6) + \\ &\quad (1 \times 0.4 \times 0.6 \times 12) + (16 \times 0.2 \times 0.35 \times 1.3) + \\ &\quad (7 \times 0.2 \times 0.35 \times 3.8) + (11 \times 0.25 \times 0.5 \times 6) + \\ &\quad (4 \times 0.3 \times 0.6 \times 4.825) + (3 \times 0.4 \times 0.6 \times 7.9) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (2 \times 0.4 \times 0.6 \times 12) \} \times 2.4 \\
 & = 31.934 \text{ Ton} \\
 \text{Kolom} & = \text{Jumlah} \times b \times h \times t_{\text{kolom}} \times \text{BJ Beton} \\
 & = \{(7 \times 0.65 \times 0.45 \times 3) + (10 \times 0.55 \times 0.35 \times 3) + \\
 & \quad (3 \times 0.6 \times 0.4 \times 3)\} \times 2.4 \\
 & = 14.077 \text{ Ton} \\
 \text{Beban Hidup} & = p \times l \times W_{\text{Lantai}} \times \text{faktor reduksi} \\
 & = 26 \times 16.5 \times 0.25 \times 0.5 \\
 & = 53.625 \text{ Ton} \\
 \text{Tembok arah Y} & = t_{\text{tembok}} \times \text{tebal} \times L_{\text{tembok}} \times \text{BJ Tembok} \\
 & = 3 \times 0.15 \times 82.5 \times 1.7 \\
 & = 63.112 \text{ Ton} \\
 \text{Tembok arah X} & = t_{\text{tembok}} \times \text{tebal} \times L_{\text{tembok}} \times \text{BJ Tembok} \\
 & = 3 \times 0.15 \times 91.6 \times 1.7 \\
 & = 70 \text{ Ton} \\
 \text{Berat total lantai 5 – 8} \\
 W_{\text{total 5-8}} & = (\text{pelat} + \text{balok} + \text{kolom} + \text{beban hidup} + \text{tembok}) \times \\
 & \quad \text{Jumlah Lantai} \\
 & = (198.198 + 31.934 + 14.077 + 53.625 + 63.112 + 70) \times 4 \\
 & = 1724.08 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

4. Distribusi Pembebanan Atap

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat} & = p \times l \times W_{\text{D Atap}} \\
 & = 26 \times 16.5 \times 0.4 \\
 & = 171.6 \text{ Ton} \\
 \text{Balok} & = \text{Jumlah} \times b \times h \times l \times \text{Bj Beton} \\
 & = \{(4 \times 0.2 \times 0.35 \times 3.8) + (2 \times 0.25 \times 0.5 \times 6) + \\
 & \quad (1 \times 0.4 \times 0.6 \times 12) + (16 \times 0.2 \times 0.35 \times 1.3) + \\
 & \quad (7 \times 0.2 \times 0.35 \times 3.8) + (11 \times 0.25 \times 0.5 \times 6) + \\
 & \quad (4 \times 0.3 \times 0.6 \times 4.825) + (3 \times 0.4 \times 0.6 \times 7.9) + \\
 & \quad (2 \times 0.4 \times 0.6 \times 12)\} \times 2.4 \\
 & = 31.934 \text{ Ton} \\
 \text{Beban Hidup} & = p \times l \times W_{\text{Latap}} \times \text{faktor reduksi}
 \end{aligned}$$

$$= 26 \times 16.5 \times 0.1 \times 0.5$$

$$= 42.9 \text{ Ton}$$

Berat total Atap

$$W_{\text{total Atap}} = \text{pelat} + \text{balok} + \text{beban hidup}$$

$$= 171.6 + 31.934 + 42.9$$

$$= 246.434 \text{ Ton}$$

$$W_{\text{total Bangunan}} = W_{\text{total Lantai 2}} + W_{\text{total Lantai 3 - 4}} + W_{\text{total Lantai 5 - 8}} +$$

$$W_{\text{total Atap}}$$

$$= 657.141 + 1198.25 + 1724.08 + 246.434$$

$$= 3825.91 \text{ Ton}$$

5.4.3 Perhitungan Beban Gempa

Bangunan gedung yang akan dibangun berupa perhotelan dan terletak di Kota Yogyakarta. Kota Yogyakarta terletak pada wilayah gempa 3. Jenis tanah di mana bangunan akan dibangun adalah tanah dominan pasir. Bangunan dirancang menggunakan beton bertulang. Perhitungan beban gempa yang bekerja melalui langkah – langkah sebagai berikut.

1. Menghitung Periode Getar Awal Struktur (T)

$$\text{Tinggi bangunan (H)} = 3.5 \text{ m} + 3 \text{ m} + 3 \text{ m} + 3 \text{ m} + 3 \text{ m} + 3 \text{ m}$$

$$+ 3 \text{ m} + 3 \text{ m}$$

$$= 24.5 \text{ m}$$

$$T = 0.06 \times H^{0.75}$$

$$= 0.06 \times 24.5^{0.75}$$

$$= 0.66 \text{ detik}$$

Untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar struktur harus dibatasi. Dalam SNI 03-1726-2002 diberikan batasan, yaitu $T < \delta n$

Keterangan :

- T = waktu getar struktur
- δ = koefisien pembatas yang ditetapkan berdasarkan Tabel 5.3
- n = jumlah tingkat gedung

Tabel 5.4 Koefisien Pembatas Waktu Getar Struktur

Wilayah Gempa	Koefisien Pembatas (δ)
1	0.20
2	0.19
3	0.18
4	0.17
5	0.16
6	0.15

Sumber : SNI 03-1726-2002

$$T < \delta n$$

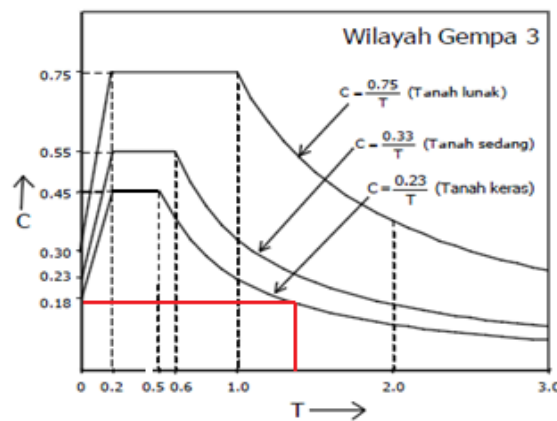
$$0.66 \text{ detik} < 0.18 \times 8$$

$$0.66 \text{ detik} < 1.44$$

Jadi, bangunan Apartemen Vivo tidak terlalu fleksibel.

2. Faktor Respon Gempa (C)

Nilai C diperoleh dari pembacaan grafik respon spektrum gempa rencana pada Gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5.13 Respon Spektrum Gempa Rencana

(Sumber : SNI 03-1726-2002)

Dari pembacaan grafik di atas, didapatkan nilai $C = 0.16$.

3. Faktor Reduksi Gempa (R)

Nilai R dapat ditentukan dengan membaca Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.5 Parameter Daktilitas Struktur Gedung

Taraf Kinerja Struktur Gedung	μ	R
Elastik penuh	1.0	1.6
Daktail parsial	1.5	2.4
	2.0	3.2
	2.5	4.0
	3.0	4.8
	3.5	5.6
	4.0	6.4
	4.5	7.2
5.0	8.0	
Daktail penuh	5.3	8.5

Sumber : SNI 03-1726-2002

Bangunan direncanakan daktail penuh, sehingga nilai R = 8.5.

4. Faktor Keutamaan (I)

Nilai I dapat ditentukan dengan membaca Tabel 5.5 berikut ini

Tabel 5.6 Faktor Keutamaan I Untuk Berbagai Kategori Gedung dan Bangunan

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	I1	I2	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1.0	1.0	1.0
Monumen dan bangunan monumental	1.0	1.6	1.6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi, minyak bumi, asam, bahan beracun	1.4	1.0	1.4
Cerobong, tangki di atas menara	0.5	1.0	1.5

Sumber : SNI 03-1726-2002

Dari pembacaan Tabel 5.6, didapatkan nilai $I = 1$.

5. Gaya Geser Dasar Nominal Statik Ekuivalen

$$V = \frac{C1 \cdot J}{R} Wt$$

$$= \frac{0.16 \cdot 1}{8.5} \times 3825.91 \text{ Ton}$$

$$= 72.02 \text{ Ton}$$

$$\text{dengan } F_i = \frac{W_i \cdot H_i}{\sum W_i \cdot H_i} \times V$$

Berat atap (W_i) = 246.434 Ton

Ketinggian (H_i) = 24.5 m

$W_i \times H_i$ = 246.434 x 24.5

$$= 6037.633 \text{ Tm}$$

$\Sigma W_i \times H_i$ = 47233.03 Tm

$$F_i = \frac{6037.633}{47233.03} \times 72.02$$

$$= 9.20 \text{ Ton}$$

Beban gempa berdasarkan arah portalnya didapatkan dengan membagi nilai F_i dengan jumlah kolom yang ada pada arah portal yang sama,

$$\text{Arah X / 4} = 9.2 / 4$$

$$= 2.3 \text{ Ton}$$

$$\text{Arah Y / 7} = 9.2 / 7$$

$$= 1.31 \text{ Ton}$$

Tabel 5.6 Gaya Gempa

Lantai	W_i (Ton)	H_i (m)	$W_i \cdot H_i$ (Tm)	F_i (Ton)	Arah X/4 (Ton)	Arah Y/7 (Ton)
9 (Atap)	246.433	24.5	6037.633	9.2	2.3	1.31
8	431.021	21.5	9266.951	14.13	3.53	2.02
7	431.021	18.5	7973.888	12.15	3.03	1.73
6	431.021	15.5	6680.825	10.18	2.54	1.45
5	431.021	12.5	5387.762	8.21	2.05	1.17
4	599.123	9.5	5691.673	8.67	2.16	1.24
3	599.123	6.5	3894.302	5.93	1.48	0.84
2	657.141	3.5	2299.99	3.5	0.87	0.5
	$\Sigma =$ 3825.91		$\Sigma = 47233.03$	$\Sigma = 72.02$		

5.5 INPUT DAN OUPUT SAP 2000

Untuk menganalisis struktur 2 dimensi dengan menggunakan program SAP 2000, terlebih dahulu harus menghitung semua beban, yaitu beban gravitasi (beban hidup dan beban mati) serta beban gempa. Prosedur input data program SAP 2000 adalah sebagai berikut.

1. pengidentifikasian *joint*, *frame*, *restraint*, dan *constraint*,
2. pengidentifikasian karakteristik *material* dan *frame section*,
3. pengidentifikasian beban (*load*), yaitu beban mati (W_D), beban hidup (W_L), dan beban gempa (E) serta kombinasinya (*Combo*), dan
4. analisis struktur dengan cara *RUN*.

Dalam perhitungan, beban mati terdiri dari berat tiap plat lantai dari lantai 2 s/d 8. Dalam analisis ini, didapatkan beban mati lantai 2 s/d 8 dan plat atap berdasarkan perhitungan distribusi pembebanan, untuk beban hidup tiap lantai sebesar 2.5 kN/m^2 dan beban hidup atap sebesar 1 kN/m^2 , sedangkan beban gempa didapatkan berdasarkan pembebanan gempa.

Dan hasil *output* SAP 2000 didapatkan gaya-gaya dalam akibat kombinasi beban (*combo 2*) $1.05 W_D + 1.05 W_L + 1.05 E$, yaitu.

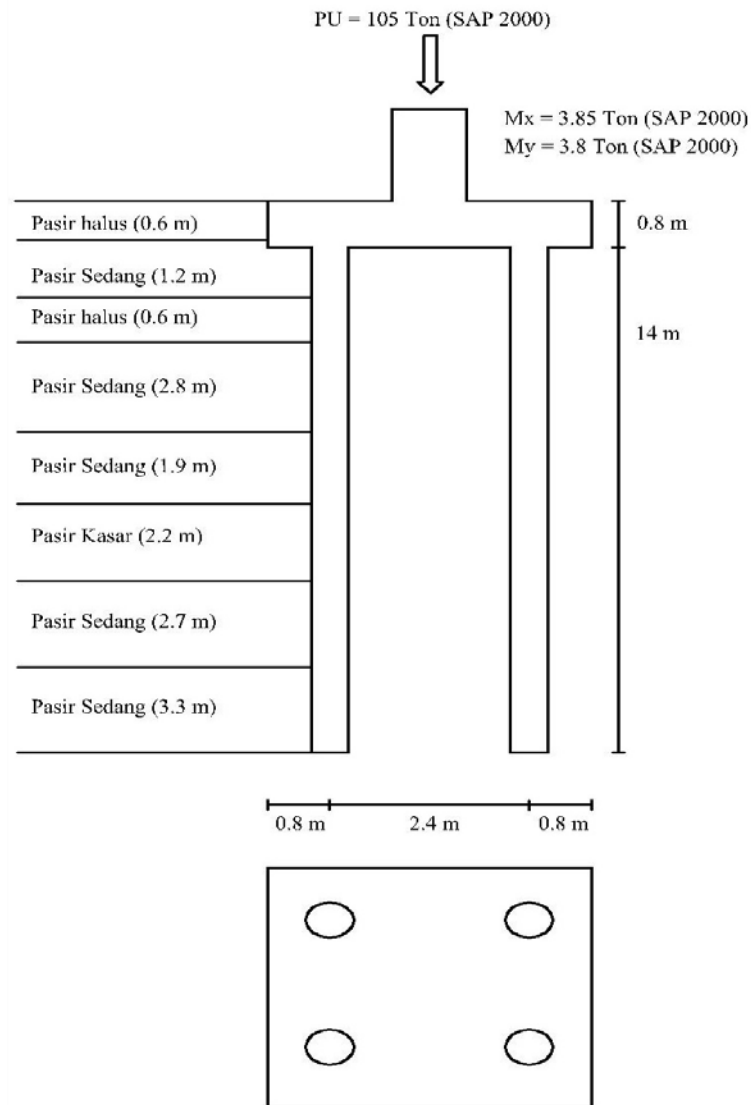
P (beban aksial)	= 105 Ton
Mx (momen)	= 3.85 Ton
My (momen)	= 0.8 Ton

Gaya – gaya maksimal pada kolom yang ditinjau (3-C) tersebut yang dipakai sebagai beban rencana pada analisis fondasi tiang bor. Lebih jelasnya, dapat dilihat dari Hasil Analisis SAP 2000

5.6 ANALISIS FONDASI TIANG BOR

5.7.1 Analisis Tiang Bor diameter 0,6 m

Potongan melintang fondasi tiang bor dan jenis tanah tiap lapisannya dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Potongan Melintang Struktur Fondasi Tiang bor

1. Analisis Distribusi Beban ke tiap Tiang Bor

Beban yang diterima tiap tiang (P_i) pada kelompok tiang bor ditentukan dengan persamaan berikut ini.

Keterangan :

Beban aksial kolom (P)	= 105 Ton
Berat pile cap	= $(4 \times 4 \times 0.8) \times 2.4 = 49.15 \text{ Ton}$
Berat tiang	= $(\frac{1}{4} \times \pi \times 0.6^2 \times 14) \times 2.4 \times 4 = 38 \text{ Ton}$
Berat total (V)	= 173.77 Ton

$$n \text{ tiang} = 4$$

$$X \text{ maks} = 1.2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 Y \text{ maks} &= 1.2 \text{ m} \\
 M_x &= 3.15 \text{ Ton} \\
 M_y &= 0.8 \text{ Ton} \\
 \Sigma x^2 \times n_y &= \{(1.2^2) \times 2\} \times 2 = 5.76 \text{ m}^2 \\
 \Sigma y^2 \times n_x &= \{(1.2^2) \times 2\} \times 2 = 5.76 \text{ m}^2 \\
 P_i &= \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \times X \text{ maks}}{n_y \times \Sigma x^2} \pm \frac{M_x \times Y \text{ maks}}{n_x \times \Sigma y^2} \\
 P_1 &= \frac{173.77}{4} - \frac{3.15}{5.76} + \frac{0.8}{5.76} = 42.79 \text{ Ton} \\
 P_2 &= \frac{173.77}{4} + \frac{3.15}{5.76} + \frac{0.8}{5.76} = 44.4 \text{ Ton} \\
 P_3 &= \frac{173.77}{4} + \frac{3.15}{5.76} - \frac{0.8}{5.76} = 44 \text{ Ton} \\
 P_4 &= \frac{173.77}{4} - \frac{3.15}{5.76} - \frac{0.8}{5.76} = 42.46 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

2. Analisis Kapasitas Dukung Tiang Tunggal

Kapasitas dukung tiang berdasarkan data uji SPT terdiri dari kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) dan kapasitas dukung selimut tiang (Q_s).

a. Kapasitas dukung ujung tiang (Q_p)

Untuk menghitung kapasitas ujung tiang digunakan persamaan 3.4 berikut.

$$Q_p = A \cdot q_p$$

$$A_{\text{tiang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 0.6^2 = 0.283 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 q_p &= 0.6 \cdot \sigma_r \cdot N_{60} \leq 4500 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 0.6 \cdot 100 \cdot 29 \leq 4500 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 1740 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_p &= 0.283 \text{ m}^2 \cdot 1800 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 492.2 \text{ kN} = 49.22 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

b. Kapasitas dukung selimut tiang (Q_s)

Untuk menghitung kapasitas ujung tiang digunakan persamaan 3.6 berikut.

$$Q_s = A \cdot f_s$$

$$\begin{aligned}
 A &= \pi \times d \times t \\
 &= \pi \times 0.6 \text{ m} \times 14 \text{ m} \\
 &= 26.4 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= K_o \cdot \sigma'_v \cdot \operatorname{tg} \varphi \\
 &= (1 - \sin \varphi) \cdot 4.26 \operatorname{ton/m}^2 \times \operatorname{tg} \varphi \\
 &= 0.45 \cdot 4.26 \operatorname{ton/m}^2 \cdot \operatorname{tg} 48.53 \\
 &= 2.16 \operatorname{Ton/m}^2 \\
 Q_s &= 26.4 \operatorname{m}^2 \times 2.16 \operatorname{Ton/m}^2 \\
 Q_s &= 57.02 \operatorname{Ton}
 \end{aligned}$$

c. Kapasitas dukung ultimit tiang

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_s - W_p \\
 &= 49.22 \operatorname{Ton} + 57.024 \operatorname{Ton} - 3.8 \operatorname{Ton} \\
 &= 102.44 \operatorname{Ton}
 \end{aligned}$$

d. Kapasitas dukung ijin tiang

$$\begin{aligned}
 Q_a &= \frac{Q_u}{SF} \\
 &= \frac{102.44}{2} \\
 &= 51.22 \operatorname{Ton} < P \text{ tiang} = 44.4 \operatorname{Ton} \text{ (AMAN)}
 \end{aligned}$$

e. Efisiensi kelompok tiang

Efisiensi kelompok tiang perlu dihitung apabila S (jarak antar tiang) $\leq 3\emptyset$ fondasi tiang bor dan terjadi pada tanah pasir.

Pengecekan :

$$2.5 \emptyset < S \leq 3\emptyset$$

$$S = 2,4 \operatorname{m} \text{ (dari data seperti terlihat pada Gambar 5.11)}$$

$$3\emptyset = 3 \times 0.6 \operatorname{m} = 1.8 \operatorname{m}$$

$$2.4 \operatorname{m} > 1.8 \operatorname{m}$$

Karena $S > 3D$ maka efisiensi kelompok tiang tidak perlu dihitung dan tiang dianggap bekerja secara individu.

3. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Beban yang membebani kelompok tiang adalah sebagai berikut.

- a. Beban aksial kolom (P) = 105 Ton
- b. Berat pile cap = $(4 \times 4 \times 0.8) \times 2.4 = 30.72 \operatorname{Ton}$
- c. Berat tiang = $(\frac{1}{4} \times \pi \times 0.6^2 \times 14) \times 2.4 \times 4 = 38 \operatorname{Ton}$
- d. Berat total (V) = 173.77 Ton

Kapasitas dukung kelompok tiang dapat dihitung dengan persamaan 3.8 berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_g &= n \cdot Q_a \\
 n &= 4 \\
 Q_a &= 51.22 \text{ Ton} \\
 Q_g &= 4 \times 51.22 \text{ Ton} \\
 &= 204.8 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

4. Analisis Penurunan Fondasi Tiang

a. Analisis penurunan tiang tunggal

Penurunan fondasi tiang tunggal dapat dihitung menggunakan metode semi empiris pada persamaan 3.10 berikut.

$$\begin{aligned}
 S &= S_s + S_p + S_{ps} \\
 S_s &= \frac{(Q_p + \alpha Q_s)L}{A_p \cdot E_p} \\
 \alpha &= 0.35 \text{ (Vesic 1977, } \alpha = 0.33 - 0.5 \text{)} \\
 E_p \text{ untuk } f'c \text{ 29 Mpa} &= 253100 \text{ N} \\
 S_s &= \frac{(492.2 \text{ kN} + 0.35 \times 570.24 \text{ kN}) \times 14 \text{ m}}{0.283 \text{ m}^2 \times 25310000 \text{ kN/m}^2} \\
 &= 0.0013 \text{ m} \\
 S_p &= \frac{C_p \cdot Q_p}{d \cdot q_p} \\
 C_p &= 0,1 \text{ (lihat Tabel 3.2)} \\
 S_p &= \frac{0.1 \times 492.2 \text{ kN}}{0.6 \text{ m} \times 1740 \text{ kN/m}^2} \\
 &= 0.047 \text{ m} \\
 S_{ps} &= \left(\frac{Pt}{p \cdot L} \right) \cdot \frac{d}{ES} \cdot (1 - v_s^2) \cdot I_{ws} \\
 E_s &= 750 \text{ kg/cm}^2 = 75000 \text{ kN/m}^2 \text{ (lihat Tabel 3.3)} \\
 V_s &= 0.25 \text{ (lihat Tabel 3.4)} \\
 I_{ws} &= 2 + 0.25 \sqrt{\frac{L}{d}} \\
 &= 2 + 0.25 \sqrt{\frac{14}{0.6}} \\
 &= 7.08 \\
 S_{ps} &= \frac{1737.7 \text{ kN}}{\pi \times 0.6 \times 14} \times \frac{0.6 \text{ m}}{75000 \text{ kN/m}^2} \times (1 - 0.25^2) \times 7.08 \\
 &= 0.0087 \text{ m} \\
 S_{total} &= 0.0013 + 0.047 + 0.0087 \\
 &= 0.057 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. Metode Empiris

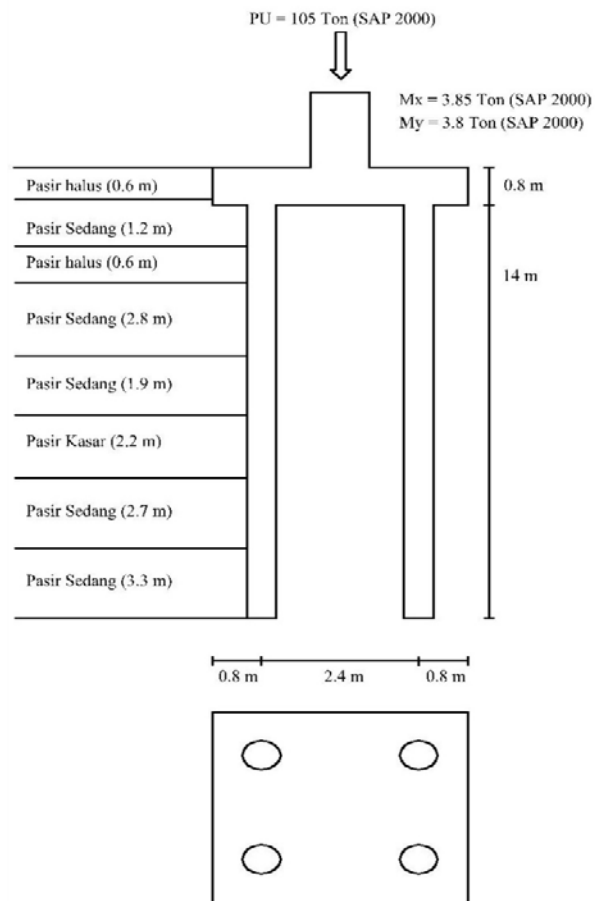
$$\begin{aligned}
 S &= \frac{d}{100} + \frac{Qg \times L}{A_p \times E_p} \\
 &= \frac{0.6 \text{ m}}{100} + \frac{2048 \text{ kN} \times 14 \text{ m}}{0.283 \text{ m}^2 \times 25310000 \text{ kN/m}^2} \\
 &= 0.01 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c. Penurunan Kelompok Tiang

$$\begin{aligned}
 S_g &= S \sqrt{\frac{E}{d}} \\
 &= 0.01 \sqrt{\frac{4 \text{ m}}{0.6 \text{ m}}} \\
 &= 0.026 \text{ m}
 \end{aligned}$$

5.7.2 Analisis Tiang Bor diameter 1 m

Potongan melintang fondasi tiang bor dan jenis tanah tiap lapisannya dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Potongan Melintang Struktur Fondasi Tiang Bor

1. Analisis Distribusi Beban ke tiap Tiang Bor

Beban yang diterima tiap tiang (P_i) pada kelompok tiang bor ditentukan dengan persamaan 3.7.

Keterangan :

Beban aksial kolom (P)	= 105 Ton
Berat pile cap	= $(4 \times 4 \times 0.8) \times 2.4 = 30.72$ Ton
Berat tiang	= $(\frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \times 14) \times 2.4 \times 4 = 105.6$ Ton
Berat total (V)	= 241.32 Ton

$$n \text{ tiang} = 4$$

$$X \text{ maks} = 1.2 \text{ m}$$

$$Y \text{ maks} = 1.2 \text{ m}$$

$$M_x = 3.15 \text{ Tm}$$

$$M_y = 0.8 \text{ Tm}$$

$$\Sigma x^2 \times n_y = \{(1.2^2) \times 2\} \times 2 = 5.76 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 \times n_x = \{(1.2^2) \times 2\} \times 2 = 5.76 \text{ m}^2$$

$$P_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \times X \text{ maks}}{n_y \times \Sigma x^2} \pm \frac{M_x \times Y \text{ maks}}{n_x \times \Sigma y^2}$$

$$P_1 = \frac{241.32}{4} - \frac{3.15}{5.76} + \frac{0.8}{5.76} = 59.69 \text{ Ton}$$

$$P_2 = \frac{241.32}{4} + \frac{3.15}{5.76} + \frac{0.8}{5.76} = 61.29 \text{ Ton}$$

$$P_3 = \frac{241.32}{4} + \frac{3.15}{5.76} - \frac{0.8}{5.76} = 60.96 \text{ Ton}$$

$$P_4 = \frac{241.32}{4} - \frac{3.15}{5.76} - \frac{0.8}{5.76} = 59.36 \text{ Ton}$$

2. Analisis Kapasitas Dukung Tiang Tunggal

Kapasitas dukung tiang berdasarkan data uji SPT terdiri dari kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) dan kapasitas dukung selimut tiang (Q_s).

a. Kapasitas dukung ujung tiang (Q_p)

Untuk menghitung kapasitas ujung tiang digunakan persamaan 3.4 berikut.

$$Q_p = A \cdot q_p$$

$$A_{\text{tiang}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 = 0.785 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 q_p &= 1 \cdot \sigma_r \cdot N_{60} \leq 4500 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 1 \cdot 100 \cdot 29 \leq 4500 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 2900 \leq 4500 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_p &= 0.785 \text{ m}^2 \cdot 2900 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 227.86 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

b. Kapasitas dukung selimut tiang (Q_s)

Untuk menghitung kapasitas ujung tiang digunakan persamaan 3.6 berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_s &= A \cdot f_s \\
 A &= \pi \times d \times t \\
 &= \pi \times 1 \text{ m} \times 14 \\
 &= 44 \text{ m}^2 \\
 f_s &= K_o \cdot \sigma'_v \cdot \text{tg } \varphi \\
 &= (1 - \sin \varphi) \cdot 4.26 \text{ ton/m}^2 \times \text{tg } \varphi \\
 &= 0.45 \cdot 4.26 \text{ ton/m}^2 \cdot \text{tg } 48.53 \\
 &= 2.16 \text{ Ton/m}^2 \\
 Q_s &= 44 \cdot 2.16 \\
 Q_s &= 95.04 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

c. Kapasitas dukung ultimit tiang

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_s - W_p \\
 &= 227.86 + 95.04 - 26.4 \\
 &= 296.5 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

d. Kapasitas dukung ijin tiang

$$\begin{aligned}
 Q_a &= \frac{Q_u}{SF} \\
 &= \frac{296.5}{2} \\
 &= 148.25 \text{ Ton} > P \text{ tiang} = 61.29 \text{ Ton (AMAN)}
 \end{aligned}$$

e. Efisiensi kelompok tiang

Efisiensi kelompok tiang perlu dihitung apabila S (jarak antar tiang) $\leq 3\emptyset$ fondasi tiang bor dan terjadi pada tanah pasir.

Pengecekan :

$$2.5 \emptyset < S \leq 3\emptyset$$

$S = 2,4 \text{ m}$ (dari data seperti terlihat pada Gambar 5.15)

$$3\phi = 3 \times 1 \text{ m} = 3 \text{ m}$$

$$2.4 \text{ m} < 3 \text{ m}$$

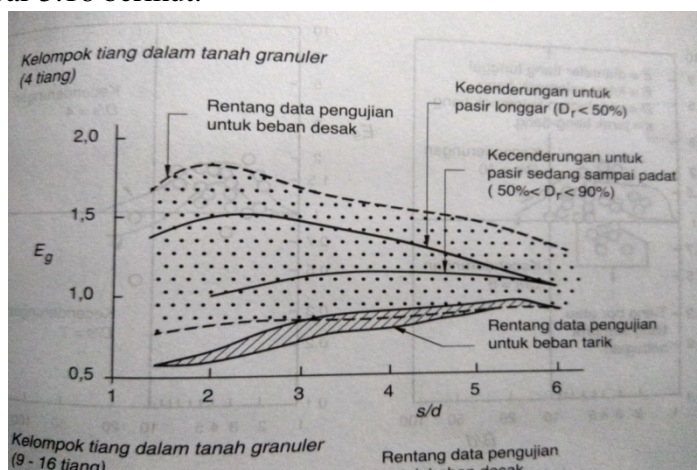
Karena $S < 3D$ maka efisiensi kelompok tiang perlu dihitung. Efisiensi kelompok tiang dapat dihitung dengan bermacam persamaan, salah satunya dengan persamaan 3.20 menurut *Conversi – Labarre* berikut ini.

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

$$\theta = \arctan d/s = \arctan 1/1.2 = 39.8^\circ$$

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - 39.8^\circ \frac{(2-1) \times 2 + (2-1) \times 2}{90 \times 2 \times 2} \\ &= 0.778 \end{aligned}$$

Atau dicari menggunakan cara O'Neill (1983) menggunakan Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.16 Diagram Efisiensi Kelompok Tiang

Sumber : Hardiatmo (2010)

Menurut diagram diatas dengan $\frac{S}{D} = \frac{2.4}{1} = 2.4$, maka didapat nilai $E_g = 1.1$

Karena $E_g = 0.778 < 1.1$, maka digunakan $E_g = 1.1$

3. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Beban yang membebani kelompok tiang adalah sebagai berikut.

- Beban aksial kolom (P) = 105 Ton
- Berat pile cap = $(4 \times 4 \times 0.8) \times 2.4 = 30.72$ Ton
- Berat tiang = $(\frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \times 14) \times 2.4 \times 4 = 105.6$ Ton

$$d. \text{ Berat total (V)} = 241.32 \text{ Ton}$$

Kapasitas dukung kelompok tiang dapat dihitung dengan persamaan 3.8 berikut ini.

$$Q_g = n \cdot Q_a \cdot E_g$$

$$n = 4$$

$$Q_a = 148.25 \text{ Ton}$$

$$Q_g = 4 \times 148.25 \text{ Ton} \times 1.1 \\ = 652.3 \text{ Ton}$$

4. Analisis Penurunan Fondasi Tiang

a. Analisis penurunan tiang tunggal

Penurunan fondasi tiang tunggal dapat dihitung menggunakan metode semi empiris pada persamaan 3.10 berikut.

$$S = S_s + S_p + S_{ps}$$

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha Q_s)L}{A_p \cdot E_p}$$

$$\alpha = 0.35 \text{ (Vesic 1977, } \alpha = 0.33 - 0.5 \text{)}$$

$$E_p \text{ untuk } f'c \text{ 30 Mpa} = 253100 \text{ N}$$

$$S_s = \frac{(2278.57 \text{ kN} + 0.35 \times 950.4 \text{ kN}) \times 14 \text{ m}}{0.785 \text{ m}^2 \times 25310000 \text{ kN/m}^2}$$

$$= 0.00184 \text{ m}$$

$$S_p = \frac{C_p \cdot Q_p}{d \cdot q_p}$$

$$C_p = 0,1 \text{ (lihat Tabel 3.2)}$$

$$S_p = \frac{0.1 \times 2278.57 \text{ kN}}{1 \text{ m} \times 2900 \text{ kN/m}^2}$$

$$= 0.078 \text{ m}$$

$$S_{ps} = \left(\frac{P_t}{p \cdot L} \right) \cdot \frac{d}{E_s} \cdot (1 - \nu_s^2) \cdot I_{ws}$$

$$E_s = 750 \text{ kg/cm}^2 = 75000 \text{ kN/m}^2 \text{ (lihat Tabel 3.4)}$$

$$\nu_s = 0.25 \text{ (lihat Tabel 3.5)}$$

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{d}}$$

$$= 2 + 0.35 \sqrt{\frac{14}{1}}$$

$$= 8.783$$

$$S_{ps} = \frac{2413.2 \text{ kN}}{\pi \times 1 \times 14} \times \frac{1 \text{ m}}{75000 \text{ kN/m}^2} \times (1 - 0.25^2) \times 8.783$$

$$= 0.006 \text{ m}$$

$$S_{\text{total}} = 0.00184 + 0.078 + 0.006$$

$$= 0.086 \text{ m}$$

b. Metode Empiris

$$\begin{aligned} S_g &= \frac{d}{100} + \frac{Qg \times L}{Ap \times Ep} \\ &= \frac{1 \text{ m}}{100} + \frac{6523 \text{ kN} \times 14 \text{ m}}{0.785 \text{ m}^2 \times 25310000 \text{ kN/m}^2} \\ &= 0.014 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Penurunan Kelompok Tiang

$$\begin{aligned} S_g &= S \sqrt{\frac{E}{d}} \\ &= 0.086 \sqrt{\frac{4 \text{ m}}{1 \text{ m}}} \\ &= 0.172 \text{ m} \end{aligned}$$