

BAB 4 PEMODELAN DAN PEMBAHASAN

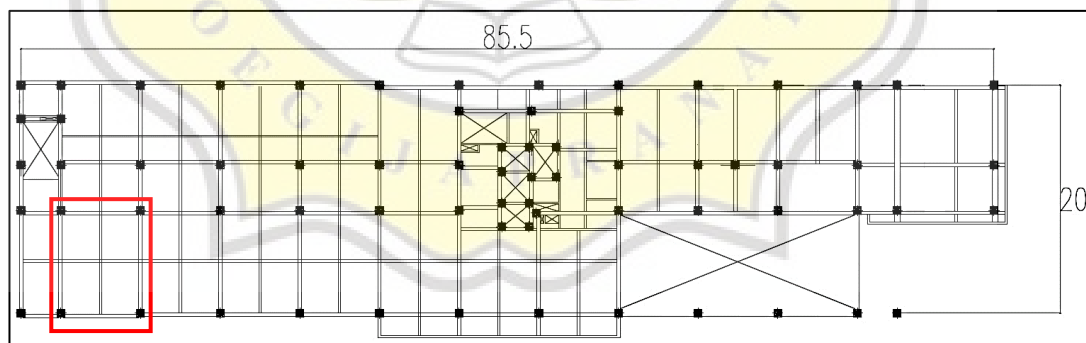
4.1. *Preliminary Design*

4.1.1. *Data Desain Preliminary Design*

Pada struktur gedung bertingkat ini menggunakan beton bertulang dengan data-data sebagai berikut:

Nama Bangunan	: Gedung Hotel Kulon Progo
Tipe Bangunan	: Penginapan
Wilayah Bangunan	: Kulon Progo
Tinggi Bangunan	: 37 m (9 Lantai)
Lebar Bangunan	: 20 m
Panjang Bangunan	: 85,5 m
Mutu Beton (f_c')	: - 30 MPa (Kolom) - 25 MPa (Balok, Pelat lantai, <i>Pilecap</i> , Pondasi)
Mutu Baja (f_y)	: - 420 MPa
Jenis Pondasi	: Pondasi <i>bored pile</i>

Pada Gambar 4.1 diperlihatkan *layout* dari bangunan hotel yang akan dijadikan acuan untuk perhitungan *preliminary design*

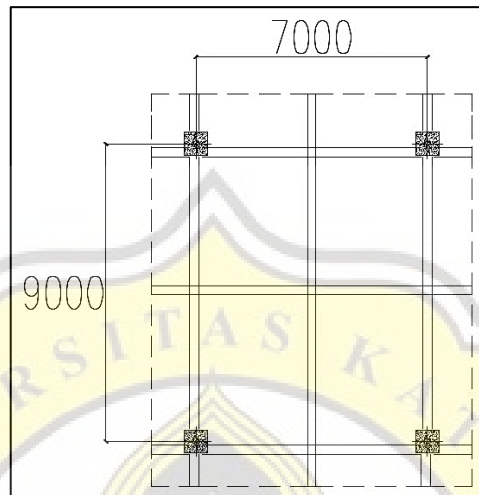


Gambar 4.1. *Layout* Gedung Hotel Kulon Progo

4.1.2. *Preliminary Design Balok*

Preliminary Design pada balok bertujuan untuk menentukan lebar dan tinggi balok minimum yang dapat digunakan pada struktur. Menurut SNI 2847:2013, Balok merupakan komponen struktur yang memiliki fungsi untuk menahan lentur. Pada

preliminary design ini menggunakan bentang terbesar yang berada pada balok. Pada Gambar 4.2 diperlihatkan *Layout* balok terbesar pada arah memanjang dan arah melintang:



Gambar 4.2. Balok Terbesar Pada Arah Memanjang Dan Melintang

Perhitungan *preliminary design* ini ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 dengan perhitungan sebagai berikut:

1. Balok Induk arah memanjang terbesar 9 m

$$\begin{aligned}L &= 9 \text{ m} \\ &= 900 \text{ cm} \\ h_{\min} &= (1/12 \times L) \\ &= (1/12 \times 900) \\ &= 75 \text{ cm} \\ b_{\min} &= 2/3 \times h_{\min} \\ &= 2/3 \times 75 \\ &= 50 \text{ cm}\end{aligned}$$

Ukuran balok induk arah memanjang = 50/75 cm

2. Balok Induk arah melintang terbesar 7 m

$$\begin{aligned}L &= 7 \text{ m} \\ &= 700 \text{ cm} \\ h_{\min} &= (1/12 \times L) \\ &= (1/12 \times 700)\end{aligned}$$

$$= 58,33 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

$$b_{\min} = 2/3 \times h_{\min}$$

$$= 2/3 \times 60$$

$$= 40 \text{ cm}$$

Ukuran balok induk arah melintang = 40/60 cm

3. Balok Anak diambil pelat lantai terbesar $7 \times 9 \text{ m}$

$$L = 900 \text{ mm}$$

$$h = (1/14 \times L)$$

$$= (1/14 \times 900)$$

$$= 64,2 \text{ mm} \approx 65 \text{ cm}$$

$$b = (1/2 \times h)$$

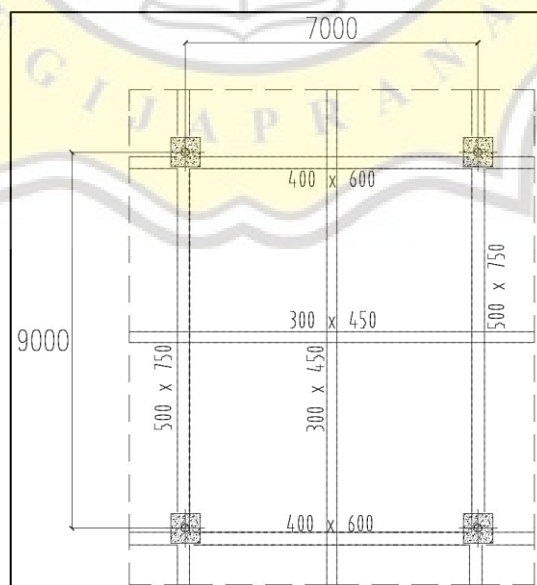
$$= (1/2 \times 65 \text{ cm})$$

$$= 32,5 \text{ cm} \approx 35 \text{ cm}$$

Ukuran balok anak yang digunakan = 35/65 cm

4.1.3. Preliminary Design Pelat Lantai

Preliminary Design pada balok bertujuan untuk menentukan tebal pelat minimum yang dapat digunakan pada struktur. Pada Gambar 4.3 diperlihatkan *Layout* pelat lantai terbesar yang digunakan:



Gambar 4.3. Pelat Lantai Terbesar Yang Digunakan

Preliminary Design pelat lantai dilakukan dengan menggunakan balok interior yang berada di sekeliling sistem pelat dengan menggunakan perhitungan berdasarkan pasal 10.7 SNI-03-2847:2002 sebagai berikut:

Untuk ukuran balok yang digunakan merupakan balok yang berada pada arah memanjang pelat lantai.

$$h_{\text{rencana pelat lantai}} = 150 \text{ mm}$$

$$b = 500 \text{ mm (Dimensi balok arah melintang)}$$

$$h = 750 \text{ mm (Dimensi balok arah memanjang)}$$

$$\begin{aligned} L_{n1} = l_n &= L_x - \left(\frac{b}{2} + \frac{b}{2} \right) \\ &= 7000 - \left(\frac{500}{2} + \frac{500}{2} \right) \\ &= 6500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{n2} &= L_y - \left(\frac{b}{2} + \frac{b}{2} \right) \\ &= 9000 - \left(\frac{500}{2} + \frac{500}{2} \right) \\ &= 8500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^2}{\frac{1}{12} \times L_n \times h_{\text{awal}}^3} = \frac{\frac{1}{12} \times 500 \times 750^2}{\frac{1}{12} \times 6500 \times 150^3} \\ &= 9,62 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $\alpha_{\text{min}} > 2$, maka tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari 90 mm atau diperhitungkan pada SNI-03-2847-2013 Pasal 9.5.3.3 dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{l_{n2}}{l_{n1}} = \frac{8500}{6500} \\ &= 1,30 \text{ mm} < 2 \text{ (Pelat dua arah)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{\text{min}} &= \frac{\ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \\ &= \frac{6500 \left(0,8 + \frac{420}{1400} \right)}{36 + 9(1,30)} = 149,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tebal pelat yang direncanakan sudah aman sesuai dengan persamaan $h_{\text{rencana}} > h_{\text{min}}$, sehingga tebal pelat yang digunakan berukuran 150 mm.

4.1.4. Preliminary Design Kolom

Preliminary design kolom bertujuan untuk menentukan kebutuhan dimensi kolom pada struktur yang bekerja terhadap beban aksial yang dipikulnya dengan perhitungan sebagai berikut:

Ukuran kolom diambil/ dihitung berdasarkan pelat lantai terbesar 7×9 m

1. Beban Mati

a. Lantai

$$\begin{aligned} \text{Pelat lantai (150 mm)} &= 7,00 \times 9,00 \times 0,15 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ tingkat} \\ &= 22.680 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Plafon dan penggantung} &= 7,00 \times 9,00 \times (11+7) \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tingkat} \\ &= 2.268 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok induk melintang} &= 7,00 \times (0,4 \times 0,6) \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tingkat} \\ &= 8.064 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok induk memanjang} &= 9,00 \times (0,5 \times 0,75) \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ tingkat} \\ &= 16.200 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok anak} &= 7,00 \times (0,3 \times 0,45) \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ tingkat} \\ &= 4.536 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pasir (5 cm)} &= 7,00 \times 9,00 \times 0,05 \times 1800 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ tingkat} \\ &= 11.340 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spesi (2 cm)} &= 7,00 \times 9,00 \times 2 \times 21 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tingkat} \\ &= 5.292 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keramik (1 cm)} &= 7,00 \times 9,00 \times 24 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tingkat} \\ &= 3.024 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Pelat Atap

$$\begin{aligned} \text{Pelat (150 mm)} &= 7,00 \times 9,00 \times 0,150 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 22.680 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Plafon dan penggantung} &= 7,00 \times 9,00 \times (11+8) \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ tingkat} \\ &= 1.134 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok induk melintang} &= 7,00 \times (0,4 \times 0,6) \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ tingkat} \\ &= 4.032 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Balok induk memanjang} &= 9,00 \times (0,5 \times 0,75) \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ tingkat} \\ &= 8.100 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Balok anak} &= 7,00 \times (0,5 \times 0,6) \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ tingkat} \\ &= 2.268 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Komponen Gedung

$$\begin{aligned}\text{Dinding bata} &= 5,00 \times 9,00 \times 450 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tingkat} \\ &= 40.500 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ducting dan MEP} &= 7,00 \times 9,00 \times 64 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tingkat} \\ &= 8.064 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Waterproofing} &= 7,00 \times 9,00 \times 5 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tingkat} \\ &= 630 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{Berat Total} = 160.812 \text{ kg}$$

2. Beban Hidup

$$\begin{aligned}\text{Lantai Hotel} &= 7,00 \times 9,00 \times 192 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tingkat} \\ &= 24.192 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Atap} &= 7,00 \times 9,00 \times 46,08 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ tingkat} \\ &= 2.903,64 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tangga} &= 300 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} \times 2 \text{ tingkat} \\ &= 600 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{Berat Total} = 27.695 \text{ kg}$$

Koefisien reduksi untuk beban hidup berdasarkan SNI 1727:2013 persamaan 4.7-1 menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$L = L_o \times \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LLAT}}}\right) = 27.695 \times \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{4 \times 63}}\right) = 14.896,7 \text{ kg}$$

Untuk beban hidup yang akan digunakan sebesar 14896,7 kg dan berdasarkan SNI 2847:2013, untuk komponen struktur bertulang, faktor reduksi kekuatan ϕ diambil 0,65

3. Perhitungan Kolom

Berat total untuk pelat lantai berukuran 7 x 9 m

$$B_w \text{ (Berat total beban mati)} = 160812 \text{ kg}$$

$$B_h \text{ (Berat total beban hidup)} = 14896,7 \text{ kg}$$

$$W = 1,2 \sum B_w + 1,6 \sum B_h$$

$$W = 1,2 (160812) + 1,6 (14896,7)$$

$$= 216.809,1 \text{ kg}$$

Sehingga didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Mutu beton } f_c' = 30 \text{ Mpa} = 305,815 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Rencana awal } &= A = \frac{W}{\phi \times f_c'} \\ &= \frac{216809,1}{0,65 \times 305,815} \\ &= 1.090,7 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Dimensi awal } b^2 = A$$

$$b^2 = 1.090,7 \text{ cm}^2$$

$$b = \sqrt{1.090,7} = 33 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

Maka perencanaan kolom yang digunakan adalah 50/50

4.1.5. Data Efektif yang Digunakan pada SAP2000

Setelah dilakukan *preliminary design*, terdapat beberapa dimensi yang seharusnya dapat diperkecil ketika diinput pada SAP2000, dan berikut merupakan dimensi-dimensi efektif yang akan digunakan:

$$\text{Balok induk memanjang} = 40/60 \text{ cm}$$

$$\text{Balok induk melintang} = 50/75 \text{ cm}$$

$$\text{Balok anak} = 30/45 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal pelat lantai} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat lantai pada atap} = 120 \text{ mm}$$

$$\text{Kolom pada lantai parkir} = 80/80 \text{ cm}$$

$$\text{Kolom pada lantai dasar- lantai 8} = 50/50 \text{ cm}$$

4.2. Analisis Pembebanan

Pada analisis pembebanan ini dilakukan untuk melihat beban dominan yang bekerja pada struktur, yaitu beban hidup dan beban mati yang nantinya akan dianalisis

menggunakan bantuan *software* SAP2000. Besarnya beban-beban yang bekerja ini akan dilakukan perhitungan sebagai berikut:

4.2.1. Pembebanan Struktur Pelat Lantai

Beban yang dominan bekerja pada struktur pelat lantai yaitu beban hidup dan beban mati yang besarnya beban-beban tersebut akan dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1. Pembebanan Pada Lantai Parkir

a. Beban Mati

$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri} &= \text{tebal pelat} \times \gamma_{\text{beton}} \\ &= 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 360 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Beban mati Total (q}_{DL}) = 360 \text{ kg/m}^2$$

b. Beban Hidup

$$\text{Beban hidup lantai hotel} = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup total (q}_{LL}) = 192 \text{ kg/m}^2$$

c. Beban ultimit

$$\begin{aligned}q_{u1} &= 1,4 \times q_{DL} \\ &= 1,4 \times 360 \text{ kg/m}^2 \\ &= 504 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q_{u2} &= (1,2 \times q_{DL}) + (1,6 \times q_{LL}) \\ &= (1,2 \times 360 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 192 \text{ kg/m}^2) \\ &= 739,2 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

2. Pembebanan pada Lantai dasar-Lantai 8

a. Beban Mati

$$\begin{aligned}\text{a.1. Berat Sendiri} &= \text{tebal pelat} \times \gamma_{\text{beton}} \\ &= 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 360 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{a.2. Beban plafon dan penggantung} = 18 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{a.3. Beban ducting dan MEP} = 64 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{a.4. Beban Keramik+Spesi} = 45 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{a.5. Beban Pasir} &= \text{berat} \times \text{tebal} \\ &= 1800 \text{ kg/m}^3 \times 0,05 \text{ m} \\ &= 90 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Beban mati Total (q}_{DL}\text{)} = 577 \text{ kg/m}^2$$

b. Beban Hidup

$$\text{b.1. Beban hidup lantai hotel} = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup total (q}_{LL}\text{)} = 192 \text{ kg/m}^2$$

c. Beban ultimit

$$\begin{aligned} q_{u1} &= 1,4 \times q_{DL} \\ &= 1,4 \times 577 \text{ kg/m}^2 \\ &= 779,8 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{u2} &= (1,2 \times q_{DL}) + (1,6 \times q_{LL}) \\ &= (1,2 \times 577 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 192 \text{ kg/m}^2) \\ &= 999,6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

3. Pembebanan Pada Atap

a. Beban Mati

$$\begin{aligned} \text{a.1. Berat Sendiri} &= \text{tebal pelat} \times \gamma_{\text{beton}} \\ &= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 288 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{a.2. Beban plafon dan penggantung} = 18 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{a.3. Beban ducting dan MEP} = 64 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{a.4. Beban waterproofing} = 5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban mati Total (q}_{DL}\text{)} = 375 \text{ kg/m}^2$$

b. Beban Hidup

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup lantai hotel} &= \text{berat} \times 0,24 \text{ m} \\ &= 192 \text{ kg/m}^2 \times 0,24 \text{ m} \\ &= 46,08 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Beban hidup total}(q_{LL}) = 46,08 \text{ kg/m}^2$$

c. Beban ultimit

$$\begin{aligned} q_{u1} &= 1,4 \times q_{DL} \\ &= 1,4 \times 375 \text{ kg/m}^2 \\ &= 525 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{u2} &= (1,2 \times q_{DL}) + (1,6 \times q_{LL}) \\ &= (1,2 \times 375 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 46,08 \text{ kg/m}^2) \\ &= 523,728 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.2.2 Pembebanan Struktur Balok

Pada pembebanan struktur balok ini bertujuan untuk melihat beban dominan yang bekerja pada balok anak. Pada balok anak ini merupakan pelat dua arah. Untuk nilai l_{n1} dan l_{n2} didapatkan dari seperempat bentang balok terbesar arah memanjang. Distribusi beban yang berada pada balok ini berasal dari pelat lantai dengan perhitungan sebagai berikut:

$$l_{n1} = 4500/2 = 2250 \text{ mm}$$

$$l_{n2} = 4500/2 = 2250 \text{ mm}$$

1. Pembebanan Pada Lantai Parkir

a. Beban Mati

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat} &= \text{tebal pelat} \times \gamma \text{ beton} \\ &= 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 360 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Beban mati } (q_{DL}) = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} W_{DL1} &= q_{DL} \times (L_{n1} + L_{n2}) \\ &= 360 \text{ kg/m}^2 \times (2,25 \text{ m} + 2,25 \text{ m}) \\ &= 1.620 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{DL2} &= 0,3 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 324 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Mati total}(W_{DL}) &= W_{DL1} + W_{DL2} \\ &= 1.620 \text{ kg/m} + 324 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$= 1.944 \text{ kg/m}$$

b. Beban Hidup

Beban hidup lantai hotel $= 192 \text{ kg/m}^2$

Beban Mati total (W_{LL}) $= q_{LL} \times (l_{n1} + l_{n2})$
 $= 192 \text{ kg/m}^2 \times (2,25 + 2,25) \text{ m}$
 $= 864 \text{ kg/m}$

c. Beban ultimit

$$q_{u1} = 1,4 \times W_{DL}$$

$$= 1,4 \times 1.944 \text{ kg/m}$$

$$= 2.721,6 \text{ kg/m}$$

$$q_{u2} = (1,2 \times w_{DL}) + (1,6 \times w_{LL})$$

$$= (1,2 \times 1.944 \text{ kg/m}) + (1,6 \times 864 \text{ kg/m})$$

$$= 3.615,2 \text{ kg/m}$$

2. Pembebanan Pada Lantai Dasar -Lantai 8

a. Beban Mati

a.1. Berat sendiri pelat $= \text{tebal pelat} \times \gamma \text{ beton}$
 $= 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$
 $= 360 \text{ kg/m}^2$

a.2. Beban keramik+spesi $= 45 \text{ kg/m}^2$

a.3. Beban *ducting* dan MEP $= 64 \text{ kg/m}^2$

a.4. Beban plafon dan penggantung $= 18 \text{ kg/m}^2$

a.5. Beban Pasir $= 90 \text{ kg/m}^2$

Beban mati (q_{DL}) $= 577 \text{ kg/m}^2$

$$W_{DL1} = q_{DL} \times (L_{n1} + L_{n2})$$

$$= 577 \text{ kg/m}^2 \times (2,25 \text{ m} + 2,25 \text{ m})$$

$$= 577 \text{ kg/m}^2 \times 4,5 \text{ m}$$

$$= 2.596,5 \text{ kg/m}$$

$$W_{DL2} = 0,3 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$= 324 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban Mati total (W}_{DL}) &= W_{DL1} + W_{DL2} \\ &= 2.596,5 \text{ kg/m} + 324 \text{ kg/m} \\ &= 2.920,5 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

b. Beban Hidup

$$\begin{aligned}\text{Beban hidup lantai hotel} &= 192 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban hidup total (W}_{LL}) &= q_{LL} \times (l_{n1} + l_{n2}) \\ &= 192 \text{ kg/m}^2 \times (2,25 + 2,25) \text{ m} \\ &= 192 \text{ kg/m}^2 \times 4,5 \text{ m} \\ &= 864 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

c. Beban ultimit

$$\begin{aligned}q_{u1} &= 1,4 \times W_{DL} \\ &= 1,4 \times 2.920,5 \text{ kg/m}^2 \\ &= 4.088,7 \text{ kg/m}^2 \\ q_{u2} &= (1,2 \times W_{DL}) + (1,6 \times W_{LL}) \\ &= (1,2 \times 2.920,5 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 864 \text{ kg/m}^2) \\ &= 4.887 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

3. Pembebanan Pada Atap

a. Beban Mati

$$\begin{aligned}\text{a.1. Berat sendiri pelat} &= \text{tebal pelat} \times \gamma \text{ beton} \\ &= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 288 \text{ kg/m}^2 \\ \text{a.2. Beban ducting dan MEP} &= 64 \text{ kg/m}^2 \\ \text{a.3. Beban plafon dan penggantung} &= 18 \text{ kg/m}^2 \\ \text{a.4. Beban waterproofing} &= 5 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban Mati (q}_{DL}) &= 375 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_{DL1} &= q_{DL} \times (l_{n1} + l_{n2}) \\ &= 375 \text{ kg/m}^2 \times (2,25 \text{ m} + 2,25 \text{ m}) \\ &= 1.687,5 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

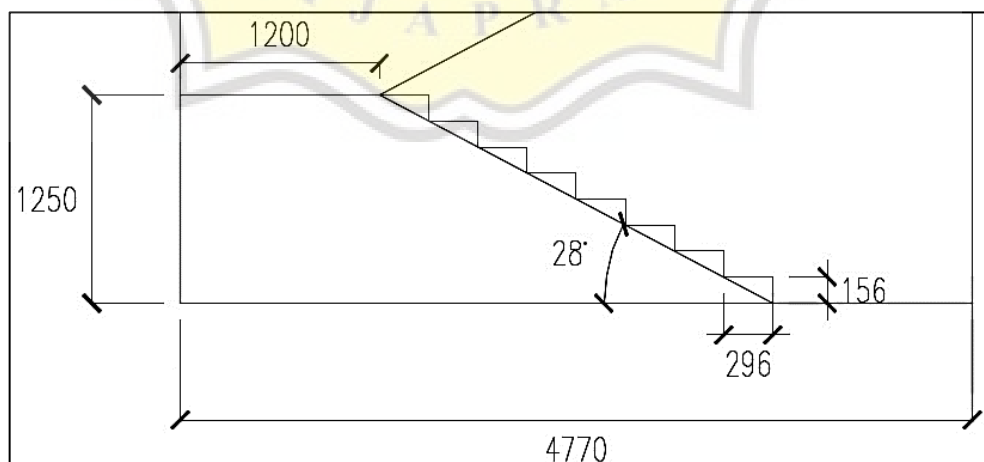
$$W_{DL2} = 0,3 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 324 \text{ kg/m} \\
 \text{Beban Mati total (W}_{DL}) &= W_{DL1} + W_{DL2} \\
 &= 1687,5 \text{ kg/m} + 324 \text{ kg/m} \\
 &= 2.011,5 \text{ kg/m} \\
 \\
 \text{b. Beban Hidup} \\
 \text{Beban hidup lantai hotel} &= 46,08 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban Hidup total (W}_{LL}) &= q_{LL} \times (L_{n1} + L_{n2}) \\
 &= 46,08 \text{ kg/m}^2 \times (2,25 + 2,25) \text{ m} \\
 &= 207,36 \text{ kg/m} \\
 \\
 \text{c. Beban ultimit} \\
 q_{u1} &= 1,4 \times W_{DL} \\
 &= 1,4 \times 2.011,5 \text{ kg/m} \\
 &= 2.816,1 \text{ kg/m} \\
 q_{u2} &= (1,2 \times W_{DL}) + (1,6 \times W_{LL}) \\
 &= (1,2 \times 2.011,5 \text{ kg/m}) + (1,6 \times 207,36 \text{ kg/m}) \\
 &= 3.796,2 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

4.2.3 Pembebanan Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Pada pembebanan struktur pelat tangga dan pelat bordes ini berasal dari beban hidup dan beban mati yang nantinya akan menerima kombinasi dari beban ultimit.

Pada Gambar 4.4 diperlihatkan desain tangga yang digunakan:



Gambar 4.4. Desain Awal Untuk Tangga

Perhitungan pembebanan struktur pelat tangga dan pelat bordes akan dijabarkan sebagai berikut:

1. Pelat tangga

Tebal pelat efektif tangga:

$$\begin{aligned}\text{Luas } \Delta 1 &= 0,5 \times I \times t \\ &= 0,5 \times 29,6 \times 15,6 \\ &= 230,8 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas } \Delta 2 &= 0,5 \times (I^2 + t^2)^{0,5} \times d \\ &= 0,5 \times (29,6^2 + 15,6^2)^{0,5} \times d \\ &= 16,7 \cdot d\end{aligned}$$

Persamaan luas $\Delta 1 = \text{luas } \Delta 2$

$$\begin{aligned}230,8 &= 16,7d \\ d &= 13,8 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$0,5d = 6,9 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka tinggi efektif pelat tangga} &= 16,7 \text{ cm} + 6,9 \text{ cm} = 23,6 \text{ cm} \\ &= 24 \text{ cm}\end{aligned}$$

Beban-belan yang bekerja pada struktur pelat tangga dan pelat bordes akan dijabarkan sebagai berikut.

a. Beban mati

Berat Sendiri

$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri} &= \frac{t_{\text{pelat efektif}}}{\cos 28^\circ} \times \gamma \\ &= \frac{0,24}{0,882} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 652,3 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Beban mati total}(W_{DL}) = 652,3 \text{ kg/m}^2$$

b. Beban hidup

$$\text{Beban hidup lantai tangga} = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup total}(W_{LL}) = 300 \text{ kg/m}^2$$

c. Beban ultimit

$$\begin{aligned}q_{u1} &= 1,4 \times W_{DL} \\ &= 1,4 \times 652,3 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 913,2 \text{ kg/m}^2 \\ q_{u2} &= (1,2 \times w_{DL}) + (1,6 \times w_{LL}) \\ &= (1,2 \times 913,2 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 300 \text{ kg/m}^2) \\ &= 1095,84 \text{ kg/m}^2 + 480 \text{ kg/m}^2 \\ &= 1.575,84 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

2. Pelat bordes

a. Beban mati

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri} &= t_{\text{pelat}} \times \gamma \\ &= 0,15 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 360 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban mati total}(W_{DL}) &= 360 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

b. Beban hidup

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup lantai bordes} &= 300 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban hidup total}(W_{LL}) &= 300 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

c. Beban ultimit

$$\begin{aligned} q_{u1} &= 1,4 \times W_{DL} \\ &= 1,4 \times 360 \text{ kg/m}^2 \\ &= 504 \text{ kg/m}^2 \\ q_{u2} &= (1,2 \times w_{DL}) + (1,6 \times w_{LL}) \\ &= (1,2 \times 360 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 300 \text{ kg/m}^2) \\ &= 432 \text{ kg/m}^2 + 480 \text{ kg/m}^2 \\ &= 912 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.2.4 Input Pembebanan Pada SAP

Setelah mendapatkan nilai pembebanan pada pelat lantai dan balok, maka selanjutnya adalah memasukkan hasil dari pembebanan tersebut kedalam aplikasi bantuan berbasis *software* yaitu SAP2000. Hasil dari pembebanan ini dilakukan untuk melakukan proses analisa struktur awal sebelum struktur diberi tambahan *damper*. Untuk hasil pembebanan meliputi pembebanan struktur pelat lantai, pembebanan balok, pembebanan pelat bordes dan pembebanan pelat tangga. Hasil

dari proses pembebanan yang akan dimasukkan kedalam SAP2000 diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data Rekapitulasi Pembebanan

Letak Pembebanan	Lantai Parkir	Lantai Dasar- Lantai 8	Lantai Atap
Pembebanan Struktur Pelat Lantai			
Beban Mati (q_{DL})	360 kg/m ²	577 kg/m ²	375 kg/m ²
Beban Hidup (q_{LL})	192 kg/m ²	192 kg/m ²	46,08 kg/m ²
Beban Ultimit	739,2 kg/m ²	999,6 kg/m ²	525 kg/m ²
Pembebanan Struktur Balok			
Beban Mati (q_{DL})	1.944 kg/m	2.920,5 kg/m	2.011,5 kg/m
Beban Hidup (q_{LL})	864 kg/m	864 kg/m	207,36 kg/m
Beban ultimit	3.615,2 kg/m	4.887 kg/m	3.796,2 kg/m
Pembebanan Pelat Tangga			
Beban Mati (q_{DL})		652,3 kg/m ²	
Beban Hidup (q_{LL})		300 kg/m ²	
Beban ultimit		1.575,8 kg/m ²	
Pembebanan Pelat Bordes			
Beban Mati (q_{DL})		405 kg/m ²	
Beban Hidup (q_{LL})		300 kg/m ²	
Beban ultimit		966 kg/m ²	

4.3. Pemodelan Struktur Awal

Pada pemodelan struktur awal ini adalah langkah paling awal dalam melakukan pemodelan struktur yang menggunakan bantuan software SAP2000. Langkah-langkah dalam pemodelan struktur ini akan dijabarkan sebagai berikut.

4.3.1. Input Material

Pada tahap input material ini merupakan langkah awal yang dilakukan dengan memasukkan tiga material utama yang digunakan pada struktur gedung kemudian diaplikasikan kedalam bantuan SAP2000. Material yang digunakan antara lain beton $f_c' = 25$ Mpa, beton $f_c' = 30$ MPa dan baja dengan mutu $f_y = 420$ MPa. Langkah tersebut dilakukan pada menu *define-material*- kemudian memasukkan material-

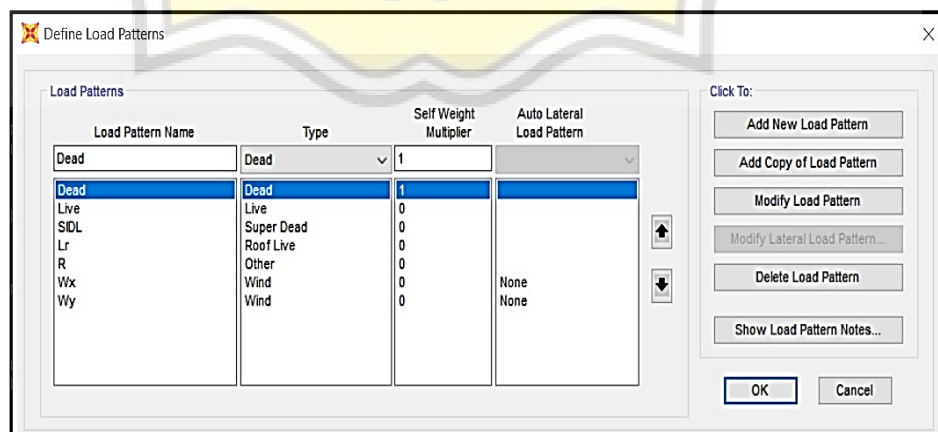
material yang akan kita gunakan baik itu mutu beton dan mutu baja dengan menambahkan detail-detail mengenai mutu yang digunakan tersebut.

4.3.2. Input Properti *Frame* dan *Area Section*

Pada tahap input properti *frame* ini dilakukan dengan memasukkan dimensi-dimensi balok dan kolom yang sudah dihitung pada tahap *preliminary design* antara lain balok induk dengan dimensi 40×60 cm dan 50×75 cm, balok anak dengan dimensi 30×45 cm serta kolom dengan dimensi 50×50 cm dan 80×80 cm. Pada tahap input *area section* ini dilakukan dengan memasukkan dimensi pelat lantai yang digunakan yang juga sudah dihitung pada tahap *preliminary desain* dengan ukuran tebal pelat lantai 12 cm dan 15 cm. Langkah tersebut dapat dilakukan dengan menu *define-section properties-frame section* untuk balok dan kolom, sedangkan untuk pelat lantai digunakan menu *define-section properties-area section*.

4.3.3. Input *Load Pattern* dan *Load Combination*

Pada tahap input *load pattern* ini dilakukan dengan memasukkan jenis-jenis pembebanan yang sebelumnya telah dilakukan perhitungan dan akan digunakan pada pemodelan ini. *Load pattern* merupakan beban-beban yang akan diberikan pada struktur gedung. Pada proses ini *load pattern* yang diinput kedalam SAP2000 merupakan beban-beban yang akan bekerja pada struktur gedung. Tahap penginputan *load pattern* akan diperlihatkan pada Gambar 4.5.

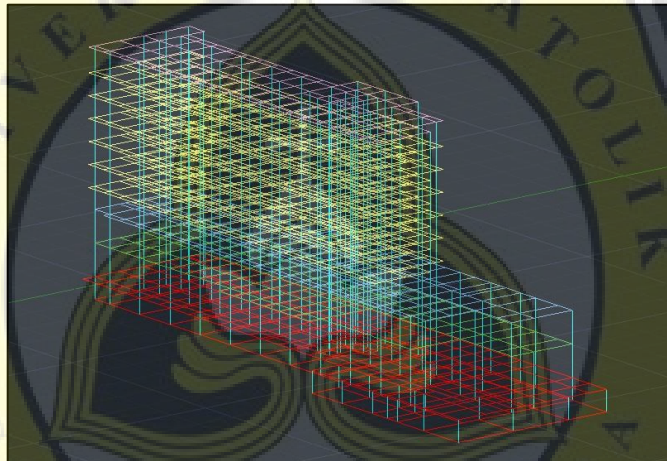


Gambar 4.5. *Load Pattern* Yang Digunakan

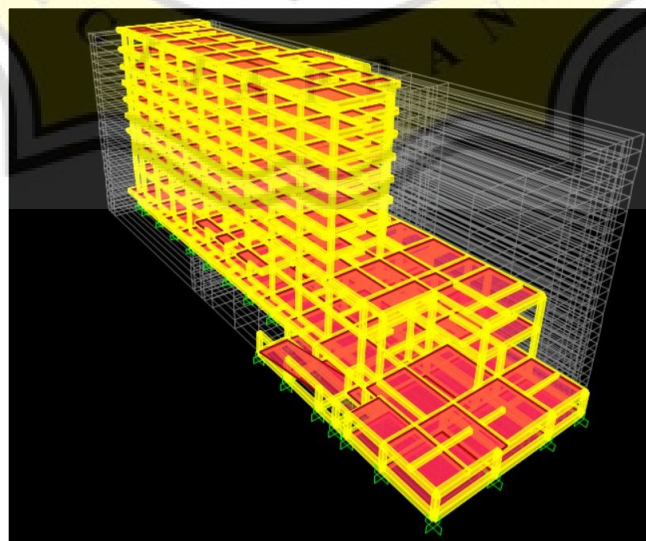
Selanjutnya yaitu input *load combination*, pada tahap ini dilakukan dengan memasukkan kombinasi pembebanan yang digunakan pada pemodelan ini. Untuk kombinasi yang digunakan sesuai dengan SNI 1726:2019 yang sudah dijabarkan pada bab 2.

4.3.4. Input Pemodelan 3D dari Autocad

Pada tahap ini dilakukan dengan menginput gambar pemodelan dari Autocad kemudian diimport kedalam SAP2000. Gambar awal pada Autocad sebelum diimport diperlihatkan pada Gambar 4.6. dan setelah diimport pada SAP2000 diperlihatkan pada Gambar 4.7.



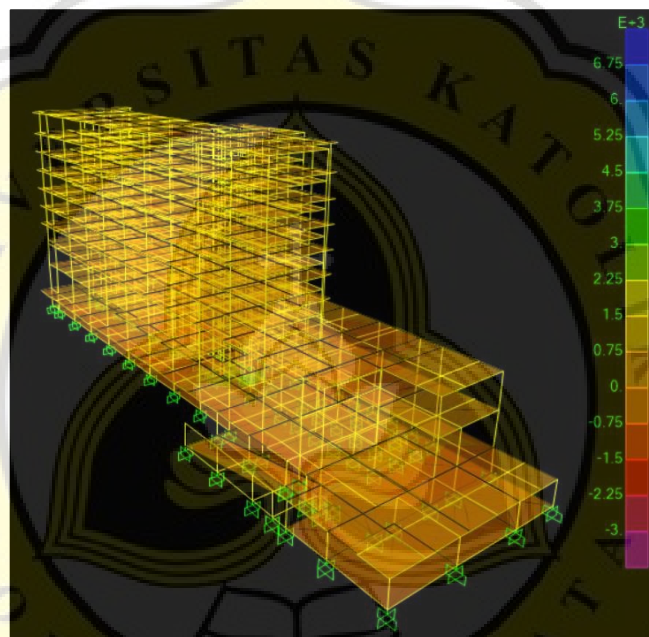
Gambar 4.6. Pemodelan Pada Autocad 3D



Gambar 4.7. Pemodelan pada SAP2000

4.3.5. Input Pembebanan

Setelah gambar pemodelan dari Autocad diimport kedalam SAP2000 selanjutnya adalah menginput pembebanan yang bekerja pada struktur. Pembebanan yang diinput pada struktur merupakan beban-beban yang sudah dihitung pada tahap sebelumnya dan hasilnya sudah diperlihatkan pada Tabel 4.1. Setelah input pembebanan ini maka akan didapatkan hasil apakah struktur gedung tersebut dapat menahan beban-beban yang telah direncanakan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Hasil Analisis SAP2000

Berdasarkan hasil analisis ini dapat dilihat bahwa struktur tersebut masih dapat menopang beban-beban yang direncanakan. Hal tersebut ditunjukkan dengan indikator warna yang masih masuk kedalam kategori aman.

4.4. Kontrol Dimensi Untuk Perhitungan Tulangan

Setelah melakukan perhitungan pembebanan, maka setelah itu akan didapatkan beban-beban yang akan diinput kedalam SAP2000 yang nantinya akan mendapatkan hasil antara lain gaya geser dasar, gaya aksial, gaya geser dan momen. Dari hasil tersebut maka dapat dilakukan kontrol dimensi untuk perhitungan tulangan yang akan dijabarkan pada subbab dibawah ini.

4.4.1. Pelat Lantai

Pada perhitungan tulangan pada pelat lantai ini dilakukan berdasarkan Peraturan Beton Bertulang 1971. Pada perhitungan pelat lantai digunakan desain pelat lantai yang terluas. Berikut merupakan perhitungan dari pelat lantai yaitu sebagai berikut:

1. Data

- Tebal Pelat (t) = 15 cm = 150 mm
- l_x (panjang sisi pelat yang pendek) = 7 m
- l_y (panjang sisi pelat yang panjang) = 9 m
- Mutu beton (f_c') = 25 MPa
- Mutu baja (f_y) = 420 MPa
- Tebal Selimut Beton = 4 cm = 40 mm
- q_u (Beban ultimit) = 999,6 kg/m²










2. Perhitungan Momen

Diameter tulangan pelat lantai untuk arah x dan y direncanakan menggunakan tulangan ulir dengan diameter Ø13 mm. Rasio antara panjang sisi pelat yang panjang dan pendek yaitu:

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{9}{7} = 1,29$$

Koefisien untuk $M_{lx} = -M_{lx}$ dan $M_{ly} = -M_{ly}$ yaitu berdasarkan tabel koefisien momen pada pelat seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Koefisien Momen Pada Pelat

		l_y/l_x	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	>2,5
I		(Mlx) = 0,001 qlx ² X	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125
		(Mly) = 0,001 qlx ² X	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	32	32	25
II		(Mlx) = - (Mlx) = 0,001 qlx ² X	36	42	46	50	53	56	58	59	60	61	62	62	62	63	63	63	63
		(Mly) = 0,001 qlx ² X	36	37	38	38	38	37	36	36	35	35	35	34	34	34	34	34	13
III		(Mlx) = - (Mlx) = 0,001 qlx ² X	48	55	61	67	71	76	79	82	84	86	88	89	90	91	92	92	94
		(Mly) = 0,001 qlx ² X	48	50	51	51	51	51	51	50	50	49	49	49	48	48	47	47	19
IVA		(Mlx) = 0,001 qlx ² X	22	28	34	41	48	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
		(Mly) = 0,001 qlx ² X	51	57	62	67	70	73	75	77	78	79	79	79	79	79	79	79	25
IVB		(Mlx) = - (Mlx) = 0,001 qlx ² X	51	54	57	59	60	61	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63	63
		(Mly) = 0,001 qlx ² X	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	13
VA		(Mlx) = 0,001 qlx ² X	31	38	45	53	59	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125
		(Mly) = 0,001 qlx ² X	60	65	69	73	75	77	78	79	79	80	80	80	80	79	79	79	25
VB		(Mlx) = - (Mlx) = 0,001 qlx ² X	60	66	71	76	79	82	85	87	88	89	90	91	91	92	92	93	94
		(Mly) = 0,001 qlx ² X	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	16	16	15	15	12
VIA		(Mlx) = 0,001 qlx ² X	38	46	53	59	65	69	73	77	80	83	85	86	87	88	89	90	54
		(Mly) = 0,001 qlx ² X	43	46	48	50	51	51	51	51	50	50	50	49	49	48	48	48	19
VIB		(Mlx) = - (Mlx) = 0,001 qlx ² X	13	48	51	55	57	58	60	61	62	62	62	63	63	63	63	63	63
		(Mly) = 0,001 qlx ² X	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	13
		(Mlx) = 0,001 qlx ² X	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	33
		(Mly) = 0,001 qlx ² X	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	33

(Sumber: PBI, 1971)

Berdasarkan Tabel 4.2 maka koefisien momen yang didapatkan pada pelat untuk $\frac{l_y}{l_x} = 1,29$ adalah:

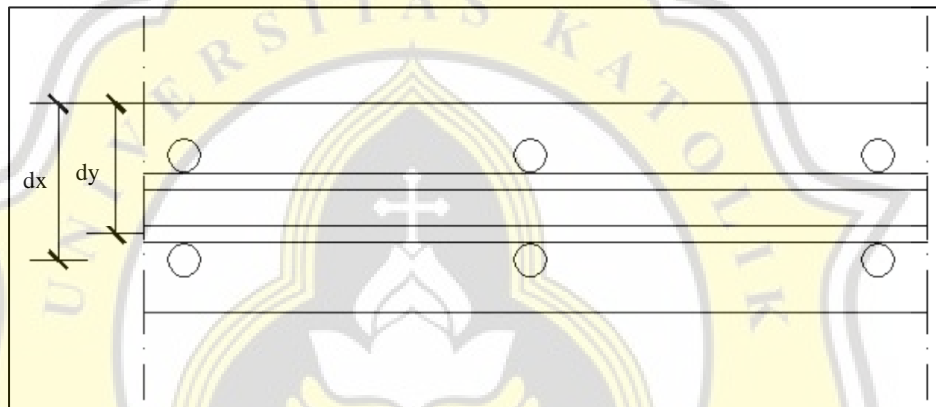
Koefisien untuk $M_{lx} = -M_{tx}$ yaitu:

$$C_x = y_2 = \frac{(x_2 - x_1)(y_3 - y_1)}{(x_3 - x_1)} + y_1 = \frac{(1,29 - 1,2)(50 - 46)}{(1,3 - 1,2)} + 46$$

$$= 49,4$$

Koefisien untuk $M_{ly} = -M_{ty}$ yaitu $C_y = 38$

Pada Gambar 4.9 diperlihatkan sketsa dari peletakan pelat lantai yang memperlihatkan jarak d_x dan d_y .



Gambar 4.9. Peletakan Jarak d_x dan d_y

Untuk jarak tulangan bawah arah x dan arah y dari tepi bagian atas pelat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$d_x = t - d'' - 0,5 \text{ diameter tulangan } x$$

$$= 150 - 40 - 0,5 \times 13$$

$$= 103,5 \text{ mm}$$

$$d_y = t - d'' - \text{diameter tulangan } x - 0,5 \text{ diameter tulangan } y$$

$$= 150 - 40 - 13 - 0,5 \times 13$$

$$= 90,5 \text{ mm}$$

Untuk momen ultimit pada arah x dan arah y dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$M_{ulx} = 0,001 \times q_u \times C_x \times l_x^2$$

$$= 0,001 \times 999,6 \times 49,4 \times 7^2$$

$$= 2421,03 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 M_{uly} &= 0,001 \times q_u \times C_y \times l_y^2 \\
 &= 0,001 \times 999,6 \times 38 \times 9^2 \\
 &= 3076,77 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Untuk momen yang diperlukan pada arah x dan arah y dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_{nlx} &= -M_{ntx} = \frac{M_{ulx}}{\phi} \\
 &= \frac{2421,03}{0,8} \\
 &= 3026,29 \text{ kg.m} = 30262890 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nly} &= -M_{nty} = \frac{M_{uly}}{\phi} \\
 &= \frac{3076,77}{0,8} \\
 &= 3845,96 \text{ kg/m} = 38459610 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Tulangan Pelat

Dalam mencari nilai a_x digunakan persamaan sebagai berikut:

$$0,5 (0,85 f_c' 1000) a_x^2 - (0,85 f_c' 1000 d_x) a_x + M_{nx} = 0$$

$$0,5 (0,85 \times 25 \times 1000) a_x^2 - (0,85 \times 25 \times 1000 \times 103,5) a_x + 30262890 = 0$$

$$10625a_x^2 - 2199375a_x + 30262890 = 0$$

Penyelesaian persamaan a_x menggunakan rumus ABC

$$a_x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-2199375 \pm \sqrt{2199375^2 - 4 \times 10625 \times 30262890}}{2 \times 10625}$$

$$a_{x1} = \frac{-2199375 + \sqrt{2199375^2 - 4 \times 10625 \times 30262890}}{2 \times 10625}$$

$$= 192,18$$

$$a_{x2} = \frac{-2199375 - \sqrt{2199375^2 - 4 \times 10625 \times 30262890}}{2 \times 10625}$$

$$= 14,82 \text{ (digunakan karena merupakan nilai terkecil)}$$

$$a_x = 14,82 \text{ mm}^2$$

Dalam mencari nilai a_y digunakan persamaan sebagai berikut:

$$0,5 (0,85 f_c' 1000) a_y^2 - (0,85 f_c' 1000 d_y) a_y + M_{ny} = 0$$

$$0,5 (0,85 \times 25 \times 1000) a_y^2 - (0,85 \times 25 \times 1000 \times 90,5) a_y + 38459610 = 0$$

$$10625a_y^2 - 1923125a_y + 38459610 = 0$$

Penyelesaian persamaan a_y menggunakan rumus ABC

$$\begin{aligned} a_y &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-1923125 \pm \sqrt{1923125^2 \times 10625 \times 38459610}}{2 \times 10625} \\ a_y &= \frac{-1923125 + \sqrt{1923125 \times 10625 \times 38459610}}{2 \times 10625} \\ &= 158,11 \\ a_{y2} &= \frac{-1923125 - \sqrt{1923125^2 \times 10625 \times 38459610}}{2 \times 10625} \\ &= 21,48 \text{ (digunakan karena merupakan nilai terkecil)} \\ a_y &= 21,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Selanjutnya adalah menghitung luas tulangan pakai (A_s pakai) pada arah x yang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{sx} &= \frac{0,85 f_c' 1000 a_x}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 1000 \times 14,82}{420} = \frac{314925}{420} \\ &= 749,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan minimum pada arah x

$$\begin{aligned} A_{sx \text{ min}} &= \frac{\sqrt{f_c'} 1000 d_x}{4 f_y} \\ &= \frac{\sqrt{25} \times 1000 \times 103,5}{4 \times 420} \\ &= \frac{517500}{1680} \\ &= 308,04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sx \text{ min}} &= \frac{1,4 1000 d_x}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 1000 \times 103,5}{420} \\ &= \frac{144900}{420} \\ &= 345 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang diperlukan (A_{sx}) diambil nilai terbesar dari ketiga perhitungan diatas, yaitu $749,87 \text{ mm}^2$.

Selanjutnya yaitu menentukan jarak antar tulangan arah x yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar tulangan arah x} &= \frac{0,25 \pi \text{ diameter}^2 1000}{A_{sx} \text{ pakai}} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 1000}{749,87} \\ &= 176,92 \\ &= 180 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga pada tulangan pelat lapangan dan bagian tumpuan pada arah x menggunakan $\emptyset 13 - 180 \text{ mm}$.

Selanjutnya adalah menghitung luas tulangan pakai (A_s pakai) pada arah y yang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{sy} &= \frac{0,85 f_c' 1000 a_y}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 1000 \times 22,89}{420} \\ &= 1158,35 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan minimum pada arah y

$$\begin{aligned} A_{sy \text{ min}} &= \frac{\sqrt{f_c'} 1000 d_y}{f_y} \\ &= \frac{\sqrt{30} \times 1000 \times 90,5}{420} \\ &= 269,35 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sy \text{ min}} &= \frac{1,4 1000 d_y}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 1000 \times 90,5}{420} \\ &= 301,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang diperlukan (A_{sy}) diambil nilai terbesar dari ketiga perhitungan diatas, yaitu $1158,35 \text{ mm}^2$.

Selanjutnya yaitu menentukan jarak antar tulangan arah y yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Jarak antar tulangan arah y} = \frac{0,25 \pi \text{ diameter}^2 1000}{A_{sx} \text{ pakai}}$$

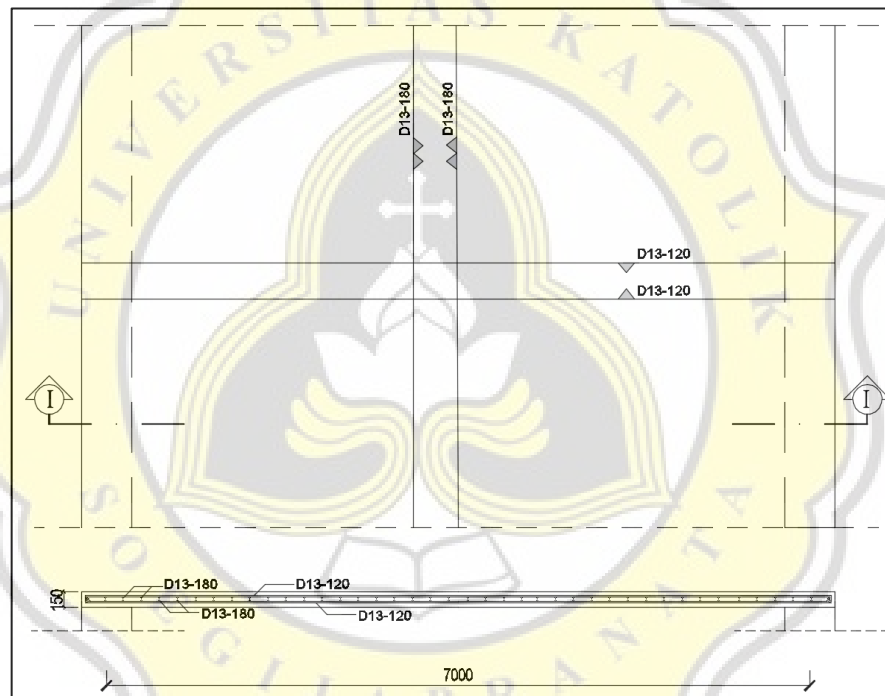
$$\frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{1158,35}$$

$$= 114,53$$

$$= 120 \text{ mm}$$

Sehingga pada tulangan pelat lapangan dan bagian tumpuan pada arah y menggunakan $\emptyset 13 - 120 \text{ mm}$

Maka, tulangan pelat pada bagian lapangan dan pada bagian tumpuan arah x dipakai $\emptyset 13 - 180 \text{ mm}$ sedangkan untuk arah y dipakai $\emptyset 13 - 120 \text{ mm}$. Sketsa dari penulangan pelat lantai ini akan diperlihatkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Sketsa Penulangan Pelat Lantai

4.4.2. Balok

Pada perhitungan tulangan pada balok ini dilakukan berdasarkan perhitungan balok milik McCormac(2003). Pada perhitungan balok ini menggunakan dimensi balok induk dan balok anak yang sudah didapatkan dari perhitungan pada *preliminary desain*. Untuk contoh perhitungan balok yang akan dijabarkan menggunakan balok induk dengan dimensi $50 \times 75 \text{ cm}$, untuk dimensi balok lain akan langsung ditunjukkan hasilnya pada Tabel 4.4.

Proses perhitungan tulangan pada balok ini akan dijabarkan sebagai berikut:

1. Data balok yang digunakan sebagai perhitungan yaitu balok induk 50×75 cm

- Mutu beton = 25 MPa
- Mutu tulangan = 420 MPa
- Lebar balok(b) = 500 mm
- Tinggi balok(h) = 750 mm
- Diameter tulangan lentur = 22 mm
- Diameter tulangan geser = 10 mm
- Diameter tulangan torsi = 19 mm
- Selimit beton = 40 mm
- Bentang bersih = 8300 mm

Berikut merupakan rekap hasil rekap gaya yang bekerja pada balok menggunakan program SAP2000 seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. *Output* Gaya Pada Balok

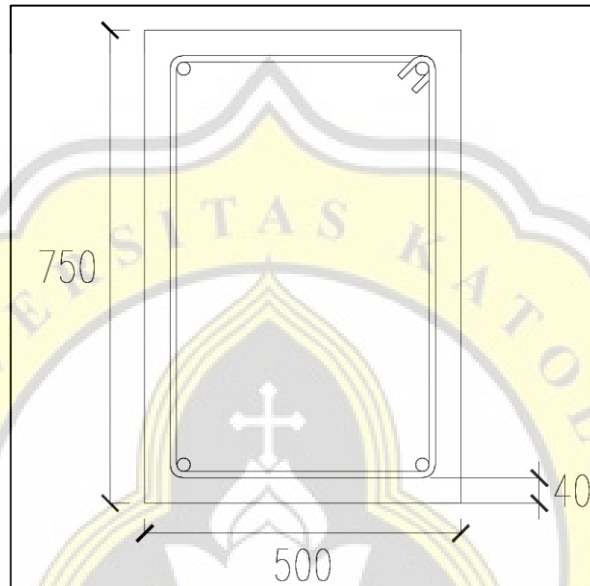
Frame Text	Station (m)	Output Case	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN-m)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
954	7	ENV	-18.784	-21.671	-0.116	34.3441	0.449	500.7307
2500	0	ENV	-2.241	173.154	-0.00109	-8.1528	-0.0062	484.8703
955	0	ENV	-22.337	154.653	0.907	-33.7984	2.019	484.4863
2008	0	ENV	0.547	173.086	-0.00383	-7.7001	-0.0074	481.5375
1516	0	ENV	0.787	171.868	-0.00278	-6.4089	-0.0094	481.5232
1762	0	ENV	0.98	172.567	-0.00415	-7.2117	-0.0078	481.5064
2254	0	ENV	1.419	173.523	-0.00491	-8.0502	-0.0091	480.8017
954	6.5	ENV	-18.784	-25.96	-0.116	34.3441	0.3452	480.68
1270	0	ENV	5.064	169.712	0.018	-5.5776	0.0734	480.2871
1016	0	ENV	32.12	171.063	-0.024	-5.0741	-0.0067	480.1146
1026	4.57505	ENV	20.697	-96.895	-0.026	-9.1249	0.0949	474.8099
2936	0	ENV	18.644	143.963	-0.032	-0.3826	-0.0669	472.4059
2416	4.425	ENV	-3.062	158.894	0.012	-0.2852	0.0267	470.875
2414	4.425	ENV	-3.26	158.47	-0.0023	-0.7761	-0.0023	470.4951
1756	0	ENV	20.229	142.928	-0.00212	3.185	-0.0382	469.8117

2. Perhitungan kebutuhan tulangan utama

Pada perhitungan kebutuhan tulangan utama ini akan meninjau balok induk dengan data sebagai berikut:

- b = 500 mm = 19,69 inci
- h = 750 mm = 29,53 inci
- d' = 40 + 10 + 11 = 61 cm = 2,40 inci
- d = 750 – 61 = 689 cm = 27,13 inci

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 25 \text{ MPa} && = 3625,9 \text{ psi} \\
 f_y &= 400 \text{ MPa} && = 60915,85 \text{ psi} \\
 M_u (-) &= 854,77 \text{ kN.m} \\
 M_u (+) &= 500,73 \text{ kN.m} \\
 T_u &= 34,34 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.11. Penampang Balok

Selanjutnya yaitu menghitung persentase maksimal dari tulangan baja (ρ_{max}) dan persentase minimum tulangan baja (ρ_{min})

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,8 \beta f_c'}{f_y} \left[\frac{87000}{87000 + f_y} \right] \\
 &= \frac{0,8 \times 0,85 \times 3625,94}{60915,85} \left[\frac{87000}{87000 + 60915,85} \right] \\
 &= 0,0253
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,75 \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,0253 \\
 &= 0,0190
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min1} &= \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_y} \\
 &= \frac{3\sqrt{3625,94}}{60915,85} \\
 &= 0,00297
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{min2} &= \frac{200}{f_y} \\ &= \frac{200}{60915,85} \\ &= 0,00328\end{aligned}$$

Digunakan ρ_{min} yang terbesar sehingga digunakan $\rho_{min2} = 0,00328$

a. Perhitungan luas tulangan utama (bagian tumpuan)

$$M_u = 854,77 \text{ kN.m} = 630,44 \text{ lb.ft-k}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{12 \times M_u \times 1.000}{\phi b d^2} \\ &= \frac{12 \times 630,44 \times 1.000}{0,9 \times 19,69 \times 27,13} \\ &= 580,34 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \left(\frac{0,5 f_c'}{f_y} \right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{\beta f_c'}} \right) \\ &= \left(\frac{0,5 \times 3625,9}{60915,85} \right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 580,34}{0,85 \times 3625,9}} \right) \\ &= 0,0106\end{aligned}$$

Karena $\rho_{min} < \rho$, maka digunakan nilai $\rho = 0,0106$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0106 \times 19,69 \times 27,13 \\ &= 5,685 \text{ in}^2 \\ &= 3667,93 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jadi tulangan utama bagian tumpuan yang akan digunakan adalah 10D22, dengan luas tulangan total:

$$\begin{aligned}A_s &= \text{jumlah tulangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \\ &= 10 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 3799,4 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

b. Perhitungan luas tulangan utama (bagian lapangan)

$$\begin{aligned}M_u &= 500,73 \text{ kN.m} \\ &= 369,32 \text{ lb.ft-k}\end{aligned}$$

$$R_n = \frac{12 \times M_u \times 1.000}{\phi b d^2}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{12 \times 500,73 \times 1.000}{0,9 \times 19,69 \times 27,13} \\ &= \frac{6008760}{480,77} \\ &= 339,97 \text{ psi} \\ \rho &= \left(\frac{0,5 f_c'}{f_y} \right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{\beta f_c'}} \right) \\ &= \left(\frac{0,5 \times 3625,9}{60915,85} \right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 339,97}{0,85 \times 3625,9}} \right) \\ &= 0,0059 \end{aligned}$$

Karena $\rho_{min} < \rho$, maka digunakan nilai $\rho = 0,0059$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0059 \times 19,69 \times 27,13 \\ &= 3,166 \text{ in}^2 = 2042,26 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi tulangan utama bagian tumpuan yang akan digunakan adalah 6D22, dengan luas tulangan total:

$$\begin{aligned} A_s &= \text{jumlah tulangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 2279,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3. Perhitungan kebutuhan tulangan geser

Setelah menentukan tulangan utama, selanjutnya yaitu menghitung kebutuhan tulangan geser. Dalam menentukan tulangan geser ini harus sesuai dengan persyaratan SNI:2847:2013. Hal ini dikarenakan tulangan geser/ tulangan transversal ini harus mampu untuk menahan struktur ketika terjadinya sendi plastis yang terjadi pada ujung balok akibat goyangan gempa.

a. Menghitung gaya geser desain

Dalam perhitungan gaya geser desain ini harus melihat momen yang terjadi pada ujung balok. Momen ujung tersebut harus dihitung berdasarkan nilai tegangan yang terjadi yaitu sebesar $1,25f_y$ dan faktor reduksi kekuatan lentur sebesar $\phi=1$. Perhitungan gaya geser desain ini akan dijabarkan sebagai berikut:

Momen ujung tumpuan kiri negatif (M_{pr1}):

$$\begin{aligned} a_{pr} &= \frac{A_s \cdot 1,25 \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{3799,40 \times 1,25 \times 60915,85}{0,85 \times 3625,9 \times 500} \\ &= 150,19 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= A_s \cdot 1,25 f_y (d - 0,5 a_{pr}) \\ &= 3799,40 \times 1,25 \times 60915,85 \times (689 - 0,5 \times 150,19) \\ &= 979639234,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen ujung tumpuan kanan positif (M_{pr4}):

$$\begin{aligned} a_{pr} &= \frac{A_s \cdot 1,25 \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{2279,64 \times 1,25 \times 60915,85}{0,85 \times 3625,9 \times 500} \\ &= 90,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr4} &= A_s \cdot 1,25 f_y (d - 0,5 a_{pr}) \\ &= 2279,64 \times 1,25 \times 60915,85 \times (689 - 0,5 \times 90,11) \\ &= 616543013,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Gaya Geser terfaktor akibat beban gravitasi:

$$V_{g \text{ kiri}} = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = 21671 \text{ N} \quad (\text{Dari SAP2000})$$

$$V_{g \text{ kanan}} = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = 21671 \text{ N} \quad (\text{Dari SAP2000})$$

Gaya Geser akibat terjadinya goyangan ke kiri:

$$\begin{aligned} V_{\text{Sway}} &= \frac{M_{pr1} + M_{pr4}}{l_n} \\ &= \frac{979639234,1 + 616543013,6}{8500} \\ &= 187786,15 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga gaya geser desain yang didapatkan dari akibat adanya goyangan ke kiri adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{e1} &= V_{\text{Sway}} + V_{g \text{ kiri}} \\ &= 187786,15 + 21671 \\ &= 209457,15 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e2} &= V_{\text{Sway}} - V_{g \text{ kanan}} \\ &= 187786,15 - 21671 \\ &= 166115,15 \text{ N} \end{aligned}$$

b. Menghitung tulangan geser di daerah sendi plastis

Pada daerah balok yang akan terjadi sendi plastis sepanjang $2h$ muka kolom yaitu $2 \times 750 = 1500$ mm, sehingga kontribusi beban yang akan menahan gaya geser diambil=0 apabila gaya tekan aksial terfaktor kurang dari $A_g f_c' / 20$.

$$\text{Nilai } P_u = 18784 < A_g f_c' / 20 (=468750)$$

Sehingga nilai V_c yang digunakan yaitu =0

Kebutuhan tulangan geser di tumpuan kiri:

$$V_e = 209457,15 \text{ N}$$

$$d = 689 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_e}{\phi} - V_c \\ &= \frac{209457,15}{0,75} - 0 \\ &= 279276,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0,66 \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,66 \sqrt{25} \times 500 \times 689 \\ &= 3,3 \times 500 \times 689 \\ &= 1136850 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ pakai}} = 279276,2 \text{ N}$$

Sengkang yang digunakan merupakan sengkang dengan D10 ($A_v = 235,71$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{235,71 \times 420 \times 689}{279276,2} \\ &= 244,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat-syarat yang terdapat pada tulangan geser pada daerah-daerah yang mengalami sendi plastis menurut SNI 03-2847:2013 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S &= d/4 \\ &= 689/4 \\ &= 172,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 6 \times d_b \\ &= 6 \times 22 \\ &= 132 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 150 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan sengkang D10-130 mm

- c. Pada daerah diluar sendi plastis, yaitu diluar $2h$ dari muka kolom $= 2 \times 750 = 1500$ mm, sehingga gaya geser desain dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{e \text{ lapangan}} &= \frac{(l_n - 2h)(V_{e \text{ max1}} - V_{e \text{ max2}})}{l_n} + V_{e \text{ max2}} \\ &= \frac{(8500 - 1500)(209457,15 - 166115,15)}{8500} + 166115,1 \\ &= 201808,56 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk daerah yang berada diluar sendi plastis ini, diluar $2h$ dari muka kolom $> 2 \times 750$. Beton dianggap dapat menerima dan berkontribusi untuk menahan gaya geser (V_c) yang terjadi sehingga:

$$\begin{aligned} V_c &= (0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}) \cdot bw \cdot d \\ &= (0,17 \times 1 \times \sqrt{25}) \times 500 \times 689 \\ &= 292825 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \left(\frac{V_{e \text{ lapangan}}}{\phi} \right) - V_c \\ &= \left(\frac{201808,56}{0,75} \right) - 292825 \\ &= -23746,92 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0,66 \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= 0,66 \sqrt{25} \times 500 \times 689 \\ &= 3,3 \times 500 \times 689 \\ &= 1136850 \text{ N} \end{aligned}$$

$V_{s \text{ pakai}}$ diambil yang terkecil sehingga $V_{s \text{ pakai}} = -23746,92$ N

Pada perhitungan ini digunakan sengkang dengan D10 ($A_v = 157,14 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$S = \frac{157,14 \times 420 \times 689}{-23746,92}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{45473173,2}{-23746,92} \\ &= -1914,91 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat-syarat yang terdapat pada tulangan geser pada daerah-daerah luar sendi plastis menurut SNI 03-2847:2013 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S &= d/2 \\ &= 689/2 = 344,5 \text{ mm} \\ S &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga digunakan sengkang D10-300 mm.

4. Perhitungan kebutuhan tulangan transversal dan longitudinal dalam menahan torsi

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 15.5.1, pengaruh torsi untuk menahan struktur

non-prategang jika T_u kurang dari $\phi\sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$ maka torsi diabaikan.

$T_u = 34.34 \text{ kN.m}$ (Dari SAP2000)

$$\phi\sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} = 0,85 \times \sqrt{25000} \frac{0,5 \times 0,75^2}{2 \times (0,5 + 0,75)} = 7,56 \text{ kN.m}$$

Karena $T_u > \phi\sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$, maka diperlukan tulangan torsi.

- a. Pemeriksaan kapasitas penampang beton terhadap torsi

Pada pemeriksaan ini digunakan selimut beton setebal 4 cm dan sengkang diameter 10 mm.

$$\begin{aligned} x_1 &= b - 2(\text{Selimut beton} + \emptyset/2) = 19,69 - 2 \times (1,57 + 0,39/2) \\ &= 16,93 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_1 &= b - 2(\text{Selimut beton} + \emptyset/2) \\ &= 29,53 - 2 \times (1,57 + 0,39/2) \\ &= 26,77 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= 16,93 \times 26,77 \\ &= 453,22 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 453,22 \\ &= 385,24 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

Tulangan bawah digunakan D19 (diameter-19 mm)

$$d = 29,53 - 1,57 - 0,39 - \left(\frac{0,748}{2}\right)$$

$$= 27,18 \text{ in}$$

$$p_h = 2 (x_1 + x_2)$$

$$= 2 \times (16,93+26,77)$$

$$= 87,4 \text{ in}$$

Cek penampang beton cukup besar untuk menahan T_u

$$V_c = 2 \sqrt{f'_c} b d$$

$$= 2 \times \sqrt{3625,94} \times 19,69 \times 27,18$$

$$= 64447,34 \text{ lb}$$

$$V_u = 21,67 \text{ kN} = 4871,86 \text{ lb}$$

Selanjutnya adalah menentukan kapasitas penampang beton terhadap torsi yang ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b d} + 8 \sqrt{f'_c}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{4871,86}{19,69 \times 27,18}\right)^2 + \left(\frac{25,33 \times 87,4}{1,7 \times 453,22^2}\right)^2} \leq 0,85 \left(\frac{64447,34}{19,69 \times 27,18} + 8 \sqrt{3625,94}\right)$$

$$9,1 \text{ psi} \leq 512,06 \text{ psi} \dots\dots\dots\text{OK}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui bahwa penampang beton cukup untuk menahan torsi.

b. Menentukan tulangan torsi transversal yang diperlukan:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{25,33}{0,85}$$

$$= 29,801 \text{ ft-k} = 358381,73 \text{ in-lb}$$

Diasumsikan $\theta=45$ derajat

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2A_o f_y \cot \theta}$$

$$= \frac{358381,73}{2 \times 385,24 \times 60915,85 \times 1}$$

$$= 0,0076 \text{ in}^2/\text{in} \text{ untuk satu kaki sengkang}$$

Tulangan geser tambahan yang diperlukan untuk torsi:

$$\begin{aligned}
 A_l &= \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cot^2 \theta \\
 &= 0,0076 \times 87,4 \times \frac{60915,85}{60915,85} \times (1,0)^2 \\
 &= 0,67 \text{ in}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Min } A_l &= \frac{5\sqrt{f_c'} A_{cp}}{f_{yl}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \\
 &= \frac{5\sqrt{3625,94} \times 581,44}{60915,85} - (0,0076) \times 87,4 \frac{60915,85}{60915,85} \\
 &= 2,21 \text{ in}^2 > 0,67 \text{ in}^2 \dots\dots\dots \text{OK} \\
 &= 2,21 \text{ in}^2 = 1422,87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 6D19, $A_s = 1700,31 \text{ mm}^2$

c. Menghitung luas tulangan geser yang diperlukan:

$$V_u = 4871,86 \text{ lb} < \frac{1}{2} \phi V_c \left(\frac{1}{2} \times 0,85 \times 64447,34 \right) = 27390$$

Karena $V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$, maka tidak diperlukan tulangan geser.

5. Panjang Penyaluran tulangan balok

a. Panjang penyaluran tulangan pada kondisi tarik

Data-data dan parameter:

$$\begin{aligned}
 db &= 22 \text{ mm} \\
 \psi_t &= 1,0 \\
 \psi_e &= 1,0. \\
 \psi_s &= 1,0. \\
 \lambda &= 1,0 \\
 cb &= \text{decking} + D_{tul \text{ geser}} + 0,5 D_{tul \text{ lentur}} \\
 &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 0,5 \times 22 \text{ mm} \\
 &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 11 \text{ mm} \\
 &= 61 \text{ mm} \\
 K_{tr} &= 0
 \end{aligned}$$

Panjang penyaluran untuk tulangan tarik dihitung menggunakan persamaan yang ada pada SNI 2847:2013 Pasal 12.2.3.

$$(cb + K_{tr}) / db = (61 + 0) / 22 = 2,8 > 2,5. \text{ Maka diambil} = 2,5$$

$$\begin{aligned}l_d &= \left(\frac{f_y}{1,1\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times \frac{\psi t \psi e \psi s}{\left(\frac{cb+Ktr}{db}\right)} \right) \times db \\ &= \left(\frac{420}{1,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \times \frac{1 \times 1 \times 1}{(22)} \right) \times 22 \\ &= 606 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$l_{d \text{ min}} = 300 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan $l_d = 610 \text{ mm}$

- b. Panjang penyaluran tulangan pada kondisi tekan

Panjang penyaluran tulangan pada kondisi tekan tidak boleh diambil lebih kecil dari 200 mm menurut SNI 2847:2013 Pasal 12.3.1.)

$$\begin{aligned}l_{dc1} &= \left(\frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \\ &= \left(\frac{0,24 \times 420}{1,0 \sqrt{25}} \right) \times 22 = 443,52 \text{ mm} \\ l_{dc2} &= (0,043 f_y) d_b \\ &= (0,043 \times 420) \times 22 = 397,32\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka, dipakai } l_{dc} &= 443 \text{ mm} \\ &= 450 \text{ mm}\end{aligned}$$

6. Panjang kait yang dibutuhkan menurut SNI 2847:2013 menggunakan persamaan sebagai berikut:

Diasumsikan kait yang dihitung 90°

$$\begin{aligned}l_{dh} &= \left(\frac{0,24 \cdot \psi e \cdot f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \\ &= \left(\frac{0,24 \times 1,0 \times 420}{1,0 \times \sqrt{25}} \right) \times 22 \\ &= 443,52 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Maka, dipakai } l_{dh} = 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}12 d_b &= 12 \times 22 \\ &= 264 \text{ mm}\end{aligned}$$

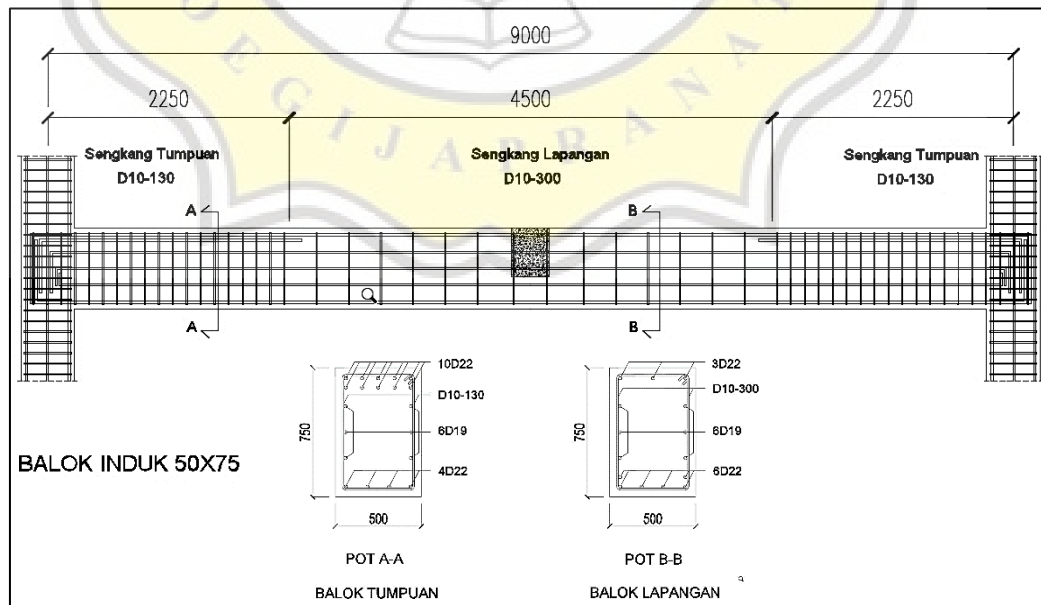
$$\text{Maka, dipakai} = 270 \text{ mm}$$

Pada Tabel 4.4 diperlihatkan rekap penulangan pada balok.

Tabel 4.4. Rekapitulasi Penulangan Balok

TIPE BALOK	BALOK INDUK (500/750)		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
TULANGAN UTAMA	10D22	6D22	10D22
TULANGAN TORSI	6D19	6D19	6D19
TULANGAN SENGGKANG	D10-130	D10-300	D10-130
TIPE BALOK	BALOK INDUK (400/600)		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
TULANGAN UTAMA	6D22	4D22	6D22
TULANGAN TORSI	4D19	4D19	4D19
TULANGAN SENGGKANG	D10-130	D10-300	D10-130
TIPE BALOK	BALOK ANAK (300/450)		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
TULANGAN UTAMA	4D22	4D22	4D22
TULANGAN TORSI	2D19	2D19	2D19
TULANGAN SENGGKANG	D10-130	D10-200	D10-130

Berdasarkan Tabel 4.4 merupakan rekapitulasi hasil yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya. Pada Gambar 4.12 diperlihatkan potongan dari penulangan balok induk berukuran 50 × 75 cm.



Gambar 4.12. Penulangan Balok

4.4.3. Kolom

Pada perhitungan tulangan pada kolom ini dilakukan berdasarkan perhitungan kolom milik McCormac(2003). Pada perhitungan kolom ini menggunakan dimensi kolom yang sudah didapatkan dari perhitungan pada *preliminary desain*. Untuk contoh perhitungan digunakan kolom dengan dimensi 500×500 mm. Proses perhitungan tulangan pada balok ini akan dijabarkan sebagai berikut:

1. Data Desain Kolom Dimensi 500×500 mm

- Mutu beton = 30 MPa
- Mutu tulangan = 420 MPa
- Lebar kolom (b) = 500 mm
- = 19,68 in
- Tinggi kolom (h) = 500 mm
- = 19,68 in
- Diameter tulangan lentur = 22 mm
- Diameter tulangan geser = 10 mm
- Selimut beton = 40 mm
- Tinggi kolom = 5000 mm

Berikut merupakan rekap hasil rekap gaya yang bekerja pada kolom menggunakan program SAP2000 seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. *Output* Gaya Dalam Kolom

Frame	Station	Output	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	(m)	Case	(kN)	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)
2561	0	ENV	-143.287	125.022	68.661	-0.0321	140.2413	226.805
2315	0	ENV	-391.52	133.771	101.501	0.1467	169.9129	226.7301
2069	0	ENV	-636.593	131.237	98.867	-0.0149	167.0741	222.1456
1823	0	ENV	-886.237	127.255	96.566	-0.0329	160.6162	214.8559
1577	0	ENV	-1132.667	121.405	96.35	-0.0337	162.9017	204.5057
1331	0	ENV	-1399.687	112.97	98.273	-0.0295	163.2977	189.1525
2547	3.8	ENV	-190.8	-57.552	-63.336	-0.1255	196.2809	185.1261
1085	0	ENV	-1679.159	107.818	105.424	-0.2124	178.1534	183.2915
2299	3.4	ENV	-410.257	-62.378	78.151	-0.1692	-80.059	180.7766
2546	3.8	ENV	-157.91	-56.621	59.619	-0.1	-71.5279	179.839
2298	3.4	ENV	-449.282	-62.065	-69.539	-0.066	202.1554	179.2678
2053	3.4	ENV	-660.356	-61.001	77.273	-0.0736	-80.1114	175.921
2052	3.4	ENV	-705.877	-60.384	-67.997	-0.0523	194.1299	174.1615
1806	3.4	ENV	-963.577	-57.953	-66.647	-0.048	190.659	167.95
1807	3.4	ENV	-913.928	-57.36	78.377	-0.0514	-81.3916	167.7619

2. Data Perencanaan

$$\begin{aligned}A_g &= b \times h \\ &= 19,68 \times 19,68 \\ &= 387,499 \text{ in}^2 \\ \text{Selimut beton} &= 40 \text{ mm} \\ d' &= \text{selimut beton} + D \text{ sengkang} + 0,5 D \text{ tulangan} \\ &= 40 + 10 + 11 \\ &= 61 \text{ mm} \\ &= 2,40 \text{ in} \\ d &= 500 - 61 \\ &= 439 \text{ mm} = 17,28 \text{ in} \\ f_c' &= 30 \text{ MPa} = 4351,13 \text{ psi} \\ f_y &= 420 \text{ MPa} = 60915,85 \text{ psi} \\ \phi_{\text{geser}} &= 0,7 \text{ (sengkang persegi)}\end{aligned}$$

3. Perhitungan Tulangan Utama Kolom 500×500 mm

Berdasarkan perhitungan struktur maka didapatkan beberapa hasil dari SAP2000 yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}P_u &= 143,29 \text{ kN} = 32,21 \text{ kip} \\ M_2 &= 140,24 \text{ kN.m} \\ M_3 &= 226,81 \text{ kN.m} \\ M_u &= 140,24 \text{ kN.m} + 226,81 \text{ kN.m} \\ &= 364,55 \text{ kN.m} \\ &= 270,72 \text{ ft.k}\end{aligned}$$

Kemudian dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}P_n &= P_u / \phi \\ &= 143,29 \text{ kN} / 0,7 \\ &= 46,02 \text{ kip} \\ M_n &= M_u / \phi \\ &= 270,72 \text{ ft.k} / 0,7 \\ &= 386,74 \text{ ft-k}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e &= \frac{12 \times M_n}{P_n} \\ &= \frac{12 \times 286,74}{46,02} \\ &= 100,85 \text{ in}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{e}{h} &= \frac{100,85}{19,68} \\ &= 5,12\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\phi P_n}{A_g} \times \frac{e}{h} &= \frac{0,7 \times 46,02}{387,499} \times 5,12 \\ &= 0,425\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{h - 2(d')}{h} \\ &= \frac{19,68 - 2(2,40)}{19,68} \\ &= 0,76\end{aligned}$$

Selanjutnya nilai ρ didapatkan berdasarkan grafik diagram interaksi kolom (Jack C. McCormac). Untuk nilai ρ didapatkan berdasarkan tabel grafik yang ditunjukkan pada lampiran L- 5.

Dari grafik $\gamma = 0,75 \rightarrow \rho = 0,005$

Dari grafik $\gamma = 0,9 \rightarrow \rho = 0,005$

Kemudian dimasukkan kedalam persamaan:

$$\begin{aligned}\rho &= \left(\frac{\gamma - \gamma_1}{\gamma_2 - \gamma_1} \right) \times (\rho_2 - \rho_1) + \rho_1 \\ &= \left(\frac{0,825 - 0,75}{0,9 - 0,75} \right) \times (0,005 - 0,005) + 0,005 \\ &= 0,005\end{aligned}$$

Menghitung A_s hitung:

$$\begin{aligned}A_{s \text{ hitung}} &= \rho b d \\ &= 0,005 \times 19,68 \times 17,28 \\ &= 1,701 \text{ in}^2\end{aligned}$$

Menghitung A_s min :

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min}} &= 1\% \times A_g \\ &= 1\% \times 387,499 \\ &= 3,87 \text{ in}^2\end{aligned}$$

Menghitung A_s max:

$$\begin{aligned}A_s \max &= 4\% \times A_g \\ &= 4\% \times 387,499 \\ &= 15,5 \text{ in}^2\end{aligned}$$

Maka A_s pakai adalah $A_s \min = 3,87 \text{ in}^2 = 2499,99 \text{ mm}^2$

Selanjutnya adalah menghitung jumlah tulangan:

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan} &= \frac{A_s \text{ Pakai}}{0,25 \times \pi \times d^2} \\ &= \frac{2499,99}{0,25 \times 3,14 \times 22^2} \\ &= 6,58 = 8 \text{ Buah}\end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan yaitu 8D22

4. Perhitungan Tulangan Geser

Berdasarkan perhitungan mekanika struktur menggunakan bantuan program SAP2000 maka diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V_u &= V_2 + V_3 = 125,022 \text{ kN} + 68,661 \text{ kN} = 193,68 \text{ kN} \\ &= 43541,9 \text{ lb} \\ N_u &= P_u = 143,287 \text{ kN} = 143,29 \text{ lb} \\ b &= 500 \text{ mm} = 19,68 \text{ in} \\ h &= 500 \text{ mm} = 19,68 \text{ in} \\ f_c' &= 30 \text{ MPa} = 4351,13 \text{ psi} \\ f_y &= 420 \text{ MPa} = 60915,85 \text{ psi} \\ A_g &= 250000 \text{ mm}^2 = 387,499 \text{ in}^2 \\ d &= 439 \text{ mm} = 17,28 \text{ in}\end{aligned}$$

Selanjutnya adalah melakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,85 \left\{ 2 \times \left(1 + \frac{N_u}{2000 A_g} \right) \sqrt{f_c'} b_w d \right\} \\ &= 0,85 \left\{ 2 \times \left(1 + \frac{143,287}{2000 \times 387,499} \right) \times \sqrt{4351,13} \times 19,68 \times 17,28 \right\} \\ &= 39737,59 \text{ lb}\end{aligned}$$

$$0,5 \phi V_c = 19858,79 \text{ lb}$$

Diperlukan sengkang apabila $V_u > 0,5 \phi V_c$

$$V_u = 43541,9 \text{ lb} > 0,5 \phi V_c (= 19858,79)$$

Sehingga diperlukan sengkang (dicoba menggunakan tulangan D10 mm)

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{43541,9 - 39737,79}{0,85} = 4475,63 \text{ lb}\end{aligned}$$

Cek dimensi kolom (syarat $V_s < 8\sqrt{f'_c} b_w d$):

$$\begin{aligned}&= 4475,63 < 8\sqrt{f'_c} b_w d \\ &= 4475,63 < 8 \times \sqrt{4351,13} \times 19,68 \times 17,28 \\ &= 4475,63 < 179538,04 \text{ lb} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Hitung jarak sengkang D10 ($A_s = 0,1218 \text{ in}^2$)

$$\begin{aligned}S &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{2 \times 0,1218 \times 60915,85 \times 17,28}{4475,63} \\ &= 15,08 \text{ in}\end{aligned}$$

Jarak maksimum untuk memberikan nilai A_v minimum sengkang:

$$\begin{aligned}S_{max1} &= \frac{A_v f_y}{50b} \\ &= \frac{2 \times 0,1218 \times 60915,85}{50 \times 19,68} \\ &= 15,08 \text{ in}\end{aligned}$$

Jarak sengkang minimum:

$$\begin{aligned}S_{max2} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{17,28}{2} \\ &= 8,64 \text{ in}\end{aligned}$$

Tidak boleh melebihi:

$$S_{max3} = 24 \text{ in}$$

Sehingga digunakan nilai S terkecil sebagai jarak sengkang minimum yaitu:

$$S_{max1} = 8,64 \text{ in} = 219,5 \text{ mm}$$

Jadi jarak sengkang yang digunakan yaitu: D10-100 mm

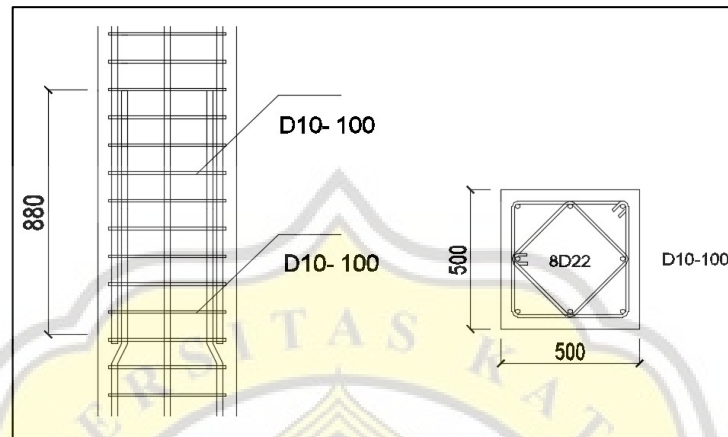
Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 1.12.3.1, panjang penyaluran tulangan pada kondisi tekan (l_{dc}) diambil harus lebih kecil daripada 200 mm

$$l_{dc1} = \left(\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f'_c}} \right) \times d_b = \left(\frac{0,24 \times 420}{1,0 \times \sqrt{30}} \right) \times 22 = 404,89 \text{ mm}$$

$$l_{dc2} = (0,043 \times f_y) \times d_b = (0,043 \times 400) \times 22 = 397,32 \text{ mm}$$

Maka digunakan $l_{dc} = 397,32 = 400 \text{ mm}$

Pada Gambar 4.13 diperlihatkan potongan dari penulangan pada kolom dengan dimensi $50 \times 50 \text{ cm}$.



Gambar 4.13. Penulangan Kolom

5. Penentuan Daerah Sendi Plastis

Pada penentuan letak daerah sendi plastis ini dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.1 yang menyatakan bahwa panjang tidak boleh kurang dari persyaratan yang ada sebagai berikut:

- a. Tinggi komponen struktur di *joint*, $h = 500 \text{ mm}$
- b. Seperenam bentang bersih komponen struktur
 $= 1/6 \times 5000 \text{ mm} = 833,33 \text{ mm}$
- c. Atau menggunakan 450 mm

Panjang yang diambil daerah sendi plastis sepanjang 1000 mm

Selanjutnya menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.3, jarak yang ada pada tulangan transversal sepanjang sendi plastis tidak boleh melebihi yang terkecil dari nilai pada syarat-syarat berikut:

- a. Seperempat dimensi komponen struktur minimum

$$\frac{b}{4} = \frac{500}{4} = 125 \text{ mm}$$

- b. $6 \times$ diameter tulangan longitudinal terkecil

$$6d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

- c. s_o , dengan nilai tidak melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm

Nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan diambil kurang dari 100 mm .

Maka dari itu digunakan jarak sengkang $s=100$ mm sepanjang sendi plastis yang terdapat pada kolom.

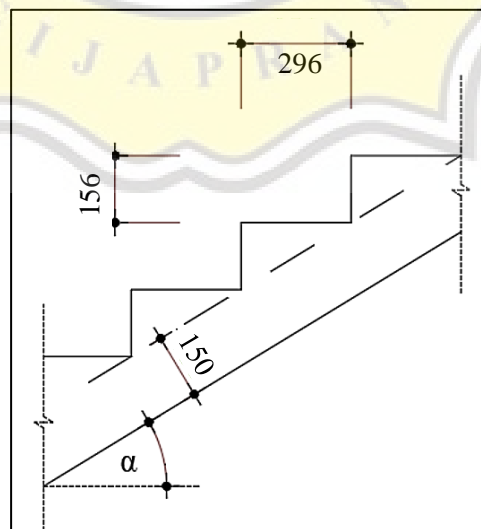
Pada Tabel 4.6 diperlihatkan rekapitulasi hasil dari penulangan kolom.

Tabel 4.6. Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe		Jenis Kolom
Dimensi		500 × 500 (K1)
Tul. Longitudinal		7D22
f'_c (MPa)		30
f_y (MPa)		420
Tul geser	Tumpuan	2D10-100
	Lapangan	2D10-100
Tipe		Jenis Kolom
Dimensi		800 × 800 (K2)
Tul. Longitudinal		14D25
f'_c (MPa)		30
f_y (MPa)		420
Tul geser	Tumpuan	2D10-100
	Lapangan	2D10-100

4.4.4. Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Perencanaan perhitungan tulangan pelat tangga dan pelat bordes menggunakan satu jenis tangga dengan dimensi tangga yang diperlihatkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Ilustrasi Data Perhitungan Tangga

1. Dimensi tangga

Tebal pelat tangga	= 150 mm	= 5,91 in
Dimensi bordes tangga	= 3150 mm × 1200 mm	= 124,01 in × 47,24 in
Dimensi pelat tangga	= 3150 mm × 2370 mm	= 124,01 in × 93,30 in
Tinggi anak tangga	= 156 mm	
Lebar anak tangga	= 296 mm	
Sudut, α	= 28°	

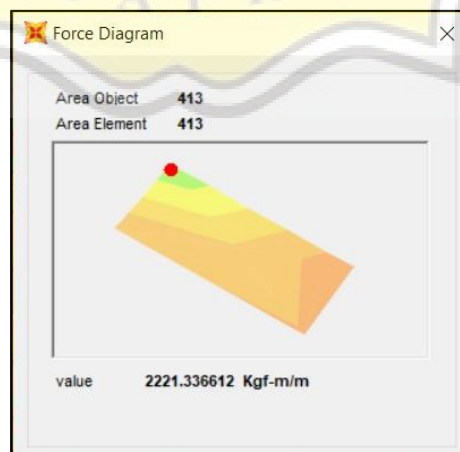
2. Beban pada tangga dan bordes

Berdasarkan perhitungan pada tahap *preliminary design* maka hasil dari pembebanan pelat tangga dan bordes sudah diketahui dengan hasil sebagai berikut:

Beban Mati Pelat tangga	= 697,3 kg/m ²
Beban Hidup pelat tangga	= 271,24 kg/m ²
Beban Kombinasi pelat tangga	= 1270,7 kg/m ²
Beban Mati pelat bordes	= 405 kg/m ²
Beban Hidup pelat bordes	= 271,24 kg/m ²
Beban Kombinasi pelat tangga	= 919,9 kg/m ²

3. Data perhitungan penulangan tangga

Perhitungan momen yang terjadi pada tangga ini dilakukan menggunakan bantuan software SAP2000. Hasil *run analysis* dari program SAP2000 tersebut dihitung dan diperlihatkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15. Gaya Pada Pelat Tangga

Mutu beton, f_c'	= 25 MPa	= 3625,94 psi
Mutu baja, f_y	= 420 MPa	= 60915,85 psi
M_u dari SAP2000	= 2221,33 Kg.m	= 16,06 ft-k
Faktor reduksi (ϕ)	= 0,9	
β ($f_c' < 4000$ psi)	= 0,85	
Lebar anak tangga (b)	= 1.475 mm	= 58,07 in
Tebal tangga (h_{DL})	= $(\sin \alpha \times 15) + \text{tebal pelat}$	
	= $(\sin 28 \times 15) + 15$ cm	
	= 22,04 cm	= 8,67 in
d'	= 40 mm	= 1,57 in
d	= $h_{DL} - d'$	
	= 8,67 in - 1,57 in	= 7,1 in

4. Perhitungan tulangan pokok tangga

$$a. \quad R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{16,06 \times 12 \times 1000}{0,9 \times 58,07 \times 7,1^2} = 73,15 \text{ psi}$$

b. Rasio tulangan baja

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{R_n}{0,85 f_c'}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 3625,94}{60915,85} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{73,15}{0,85 \times 3625,94}} \right] \\ &= 0,0505 \times 0,011 \\ &= 0,0012 \end{aligned}$$

c. Rasio tulangan baja

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \beta f_c'}{f_y} \left[\frac{87000}{87000 + f_y} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 3625,94}{60915,85} \left[\frac{87000}{87000 + 60915,85} \right] \\ &= 0,043 \times 0,588 \\ &= 0,0253 \\ \rho_{max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0253 \\ &= 0,018 \end{aligned}$$

d. Rasio minimal tulangan baja

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{3\sqrt{3625,94}}{60915,85} = 0,00296 \end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{200}{f_y} \\ &= \frac{200}{60915,85} = 0,00328 \end{aligned}$$

e. Luas tulangan baja yang dibutuhkan (A_s)

Nilai ρ yang digunakan yaitu $\rho_{min} = 0,00328$ karena $\rho < \rho_{min}$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00328 \times 58,07 \times 7,1 \\ &= 1,352 \text{ in}^2 = 872.256 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk jarak dan diameter tulangan yang digunakan dapat ditentukan berdasarkan Tabel 4.7. dengan syarat $A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$.

Tabel 4.7. Luas Tulangan Dalam Pelat

Jarak (mm)	Diameter tulangan (mm)								
	10	13	16	19	22	25	29	32	36
75	947	1.720	2.653	3.787	5.160	6.800	8.600	10.920	13.413
90	789	1.433	2.211	3.156	4.300	5.677	7.167	9.100	11.178
100	710	1.290	1.990	2.840	3.870	5.100	6.450	8.190	10.060
115	617	1.222	1.730	2.470	3.365	4.435	5.609	7.122	8.748
130	546	992	1.531	2.185	2.977	3.923	4.962	6.300	7.738
140	507	921	1.421	2.029	2.764	3.643	4.607	5.850	7.186
150	473	890	1.327	1.893	2.580	3.400	4.300	5.460	6.707
165	430	782	1.206	1.721	2.345	3.091	3.909	4.964	6.097
180	394	717	1.106	1.578	2.150	2.833	3.583	4.550	5.589
190	374	679	1.047	1.495	2.037	2.684	3.395	4.311	5.295
200	355	645	995	1.420	1.935	2.550	3.225	4.095	5.030
225	316	573	884	1.262	1.720	2.267	2.867	3.640	4.471
250	284	516	796	1.139	1.548	2.040	2.580	3.276	4.024
300	237	430	663	947	1.290	1.700	2.150	2.730	3.353

(Sumber: McCormac, 2002)

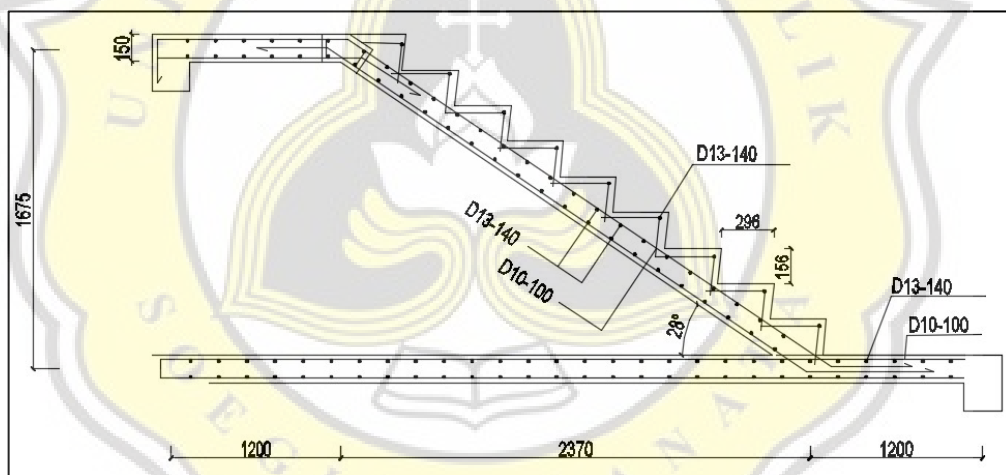
Nilai A_s yang digunakan untuk tulangan pokok tangga berdasarkan tabel diatas adalah D13-140 mm dengan $A_s = 921 \text{ mm}^2$

5. Perhitungan tulangan bagi

$$\begin{aligned}A_s &= 0,25\% \times b \times d \\ &= 0,0025 \times 58,07 \times 7,1 \\ &= 1,03 \text{ in}^2 \\ &= 664,5148 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak dan diameter tulangan yang akan digunakan berdasarkan tabel diatas, maka nilai A_s yang digunakan untuk tulangan bagi yaitu D10-100 dengan $A_s = 710 \text{ mm}^2$.

Pada Gambar 4.16 diperlihatkan detail penulangan pelat tangga dan pelat bordes.



Gambar 4.16. Penulangan Tangga

4.4.5 Pondasi (Bored pile)

Perhitungan pondasi ini dilakukan dengan beberapa tahapan seperti daya dukung ijin, jumlah tiang yang diperlukan dan beban maksimum dari tiang dan penulangan itu sendiri. Perhitungan ini menggunakan teori dari Pamungkas dan Erny(2010). Tahapan-tahapan tersebut akan dijabarkan sebagai berikut.

1. Perhitungan pondasi tiang bor

Berdasarkan analisis pondasi tiang bor dengan menggunakan bantuan program SAP2000 maka didapatkan reaksi yang diperlihatkan pada Gambar 4.17.



Joint Object	46	Joint Element	46	
	1	2	3	
Force	-64.4	-3150.963	568695.	
Moment	-12994.15	-140.63	-12.816	

Gambar 4.17. Hasil Reaksi Pada Kolom

P_u (Gaya terbesar pada kolom) = 568.695 kg

M_x (Momen pada arah X) = 12994,15 kg.m

M_y (Momen pada arah Y) = 140,63 kg.m

Untuk gambar ilustrasi P_u , M_x dan M_y akan diperlihatkan pada Lampiran L- 6.

Berikut merupakan perhitungan tiang bor yang digunakan untuk menentukan beban maksimum tiang pada satu kelompok tiang.

a. Perhitungan daya dukung ijin tiang bor

a.1. Daya dukung ijin tekan (P_a)

Perhitungan nilai daya dukung ujung tiang di kedalaman 18 meter akan dijabarkan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N\text{-SPT} &= \frac{35,5+36+63}{3} \text{ (Nilai rata-rata N-SPT pada kedalaman 17 m,} \\
 &\quad \text{18 m dan 20 m)} \\
 &= \frac{134,5}{3} = 44,83
 \end{aligned}$$

$$q_p = 40 \times 44,83 = 1793,33 \text{ ton/m}^2 \text{ (Untuk pasir, } q_p = 40N \text{ dan untuk lanau/lempung, } q_p = 20N\text{).}$$

$$\begin{aligned}
 A_p &= \text{luas penampang tiang bor} \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pondasi}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \text{ m} = 0,785 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_p &= q_p \times A_p \\
 &= 1793,33 \text{ ton/m}^2 \times 0,785 \text{ m}^2 \\
 &= 1407,76 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung daya dukung selimut tiang dengan syarat untuk kondisi tanah pasir, $f_i = N/5$ dengan $f_{i \max} = 10 \text{ ton/m}^2$ dan untuk kondisi tanah lanau/lempung, $f_i = N$ dengan $f_{i \max} = 12 \text{ ton/m}^2$. Pada Tabel 4.8 diperlihatkan tabel hasil perhitungan Q_s .

Tabel 4.8. Perhitungan Nilai Σf_i

Depth (m)	Jenis Tanah	N-SPT	f_i (t/m ²)	$A_{st} = \pi \times d \times h$ m ²	$Q_s = f_i \times A_{st}$ ton
0m - 6m	lempung	2.67	2.67	18.84	50.24
6m - 12m	lempung	1.67	1.67	18.84	31.40
12m - 16m	pasir	35.50	7.10	12.56	89.18
16m - 18m	pasir	36.00	7.20	6.28	45.22
				ΣQ_s	216.03

Berdasarkan Tabel 4.8 didapatkan nilai daya dukung selimut tiang yang digunakan untuk perhitungan yaitu $Q_s = 216,03 \text{ ton}$

Berikut merupakan perhitungan daya dukung ijin tekan:

$$\begin{aligned}
 P_a &= \frac{Q_p}{FK1} + \frac{Q_s}{FK2} \\
 &= \frac{1407,76}{3} + \frac{216,03}{5} \\
 &= 469,25 \text{ ton} + 43,20 \text{ ton} \\
 &= 512,456 \text{ ton} = 512456 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

a.2. Daya dukung tarik ijin (P_{ta})

Perhitungan nilai daya dukung tarik akan dijabarkan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_p &= \text{berat pondasi tiang} \\
 &= \gamma_{\text{beton}} \times \text{volume pondasi tiang} \\
 &= 2,4 \times 0,785 \times 18 \\
 &= 33,912 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{ta} &= \frac{(\Sigma f_i \times A_{st}) \times 0,70}{FK2} + W_p \\
 &= \frac{(216,03) \times 0,70}{5} + 33,912 \\
 &= 64,16 \text{ ton} \\
 &= 64156,48 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

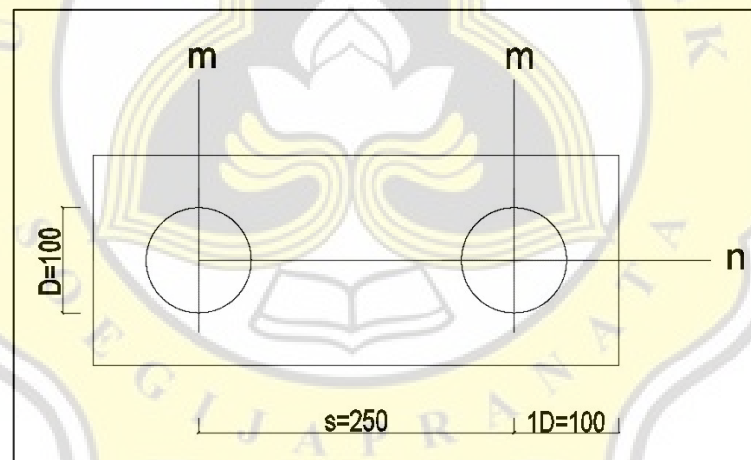
b. Perhitungan jumlah tiang bor (n_p)

$$\begin{aligned}n_p &= \frac{P_u}{P_a} \\ &= \frac{519.806}{512.456} \\ &= 1,014 = 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

Jumlah tiang bor yang akan digunakan sebanyak 2 tiang

c. Perhitungan efisiensi kelompok tiang bor (E_g)

Pada pondasi, jarak antar tiang minimum adalah $2,5D-3D$ dari titik ke as tiang tiang. Dalam pemilihan jarak antar tiang, semakin besar jarak antar tiang bor maka *pile cap* yang digunakan juga harus semakin tebal. Jarak antara tiang terhadap bagian tepi *pile cap* biasanya diambil sebesar $1D=100$ cm dari titik as tiang tersebut atau jarak minimum = 10 cm dan jarak maksimum 15 cm dari sisi terluar tiang bor ke sisi terluar *pile cap*. Pada gambar 4.17 diperlihatkan *layout* dari kelompok tiang bor.



Gambar 4.18. *Layout* Kelompok Tiang Bor

Berdasarkan Gambar 4.18 maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}s &= 2,5D \\ &= 2,5 \times 100 \text{ cm} \\ &= 250 \text{ cm} \\ \theta &= \text{arctg} (D/s) \\ &= \text{arctg} (100/250) \\ &= \text{arctg} 0,4\end{aligned}$$

$$= 21,801^\circ$$

$$m = 2 \text{ tiang}$$

$$n = 1 \text{ tiang}$$

Efisiensi kelompok tiang:

$$E_g = 1 - 21,801 \times \frac{(1-1) \times 2 + (2-1) \times 1}{90 \times 2 \times 1}$$

$$= 0,757$$

d. Perhitungan daya dukung vertikal kelompok tiang

Untuk nilai daya dukung vertikal kelompok tiang ini harus dipastikan bahwa dapat menahan beban aksial akibat reaksi pembebanan struktur yang terjadi pada kolom. ($P_g > P_u$)

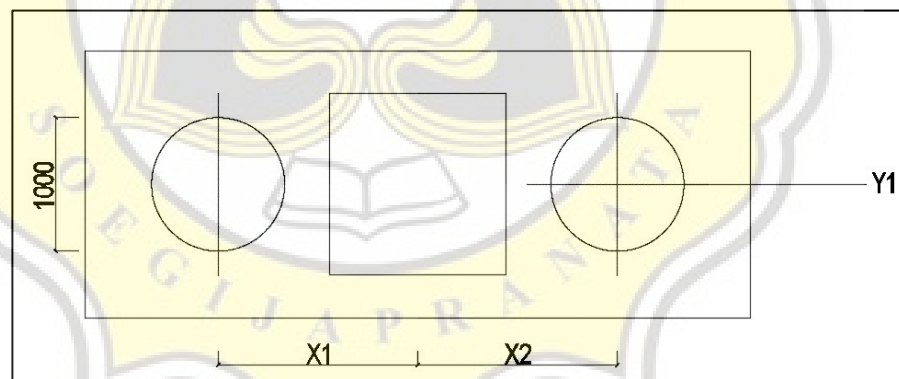
$$P_g = E_g \times n_p \times P_a$$

$$= 0,757 \times 2 \times 512456 \text{ kg}$$

$$= 775858,38 \text{ kg} > P_u = 568695 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

e. Perhitungan beban maksimum tiang dalam kelompok tiang

Pada gambar 4.19 diperlihatkan Gambar jarak tiang pada kelompok tiang.



Gambar 4.19. Jarak Tiang Pada Kelompok Tiang

$$X_{\max} = \text{jarak tiang arah sumbu x terjauh dari as kolom}$$

$$= \frac{0,5 \times (2,5 \times D)}{100} = \frac{0,5 \times (2,5 \times 100)}{100} = 1,25 \text{ m}$$

$$Y_{\max} = \text{jarak tiang arah sumbu y terjauh dari as kolom}$$

$$= \frac{0,5 \times (2,5 \times D)}{100} = \frac{0,5 \times (2,5 \times 100)}{100} = 1,25 \text{ m}$$

$$n_x = \text{jumlah tiang dalam satu baris arah sumbu x}$$

$$= 2 \text{ tiang}$$

$$\begin{aligned}
 n_y &= \text{jumlah tiang dalam satu baris arah sumbu } y \\
 &= 1 \text{ tiang} \\
 \Sigma X^2 &= \text{jumlah kuadrat } X \\
 &= \text{jumlah baris tiang arah } x \times n_x \times X_{\max}^2 \\
 &= 2 \times 2 \times 1,25^2 = 6,25 \text{ m}^2 \\
 \Sigma Y^2 &= \text{jumlah kuadrat } Y \\
 &= \text{jumlah baris tiang arah } y \times n_y \times Y_{\max}^2 \\
 &= 1 \times 1 \times 1,25^2 = 1,25 \text{ m}^2 \\
 P_{\max} &= \frac{P_u}{n_p} + \frac{M_y \times X_{\max}}{n_y \times \Sigma X^2} + \frac{M_x \times Y_{\max}}{n_x \times \Sigma Y^2} \\
 &= \frac{568695}{2} + \frac{140,63 \times 1,25}{1 \times 6,25} + \frac{12994,15 \times 1,25}{2 \times 1,25} \\
 &= 289573,29 < P_a = 512456 \text{ kg} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan tulangan pondasi *bored pile*

Data yang digunakan:

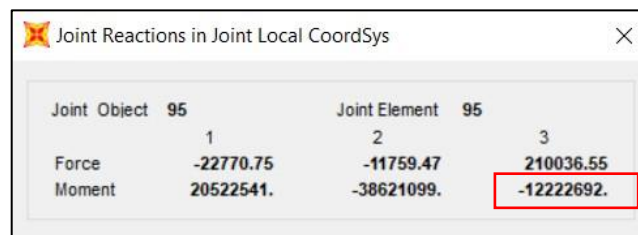
$$\begin{aligned}
 f_c' &= 25 \text{ MPa} \\
 f_y &= 420 \text{ MPa} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 d' &= 75+10+9,5 = 94,5 \text{ mm (Jarak luar pondasi ke } \frac{1}{2} \text{ dari diameter tulangan transversal)} \\
 d &= 1000-94,5 = 905,5 \text{ mm (Diameter efektif pondasi)}
 \end{aligned}$$

Untuk gambar detail notasi b, d' dan d diperlihatkan pada Lampiran L-42.

Diameter tulangan utama = 19 mm

Diameter tulangan geser = 10 mm

Pada Gambar 4.20 diperlihatkan gaya momen terbesar pada kolom yang digunakan untuk perhitungan tulangan pondasi.



Joint Object	95	Joint Element	95
	1	2	3
Force	-22770.75	-11759.47	210036.55
Moment	20522541.	-38621099.	-12222692.

Gambar 4.20. Momen Terbesar yang Bekerja Pada Kolom

- a. Menentukan momen nominal (M_n):

$$M_u = 12222692 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{12222692}{0,70} = 17460989,14 \text{ N.mm}$$

- b. Menghitung ρ_{min} , ρ_b dan ρ_{max} :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f_c'}{F_y} \times \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$$
$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right)$$

$$= 0,0253$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,0253 = 0,019$$

- c. Menghitung ρ :

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2}$$
$$= \frac{17460989,14}{1200 \times 1105,5} = 0,01 \text{ psi}$$

$$m = \frac{420}{0,85 \times 25} = 19,76 \text{ psi}$$

$$\rho = \frac{1}{19,76} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19,76 \times 0,01}{420}} \right)$$
$$= 0,000028$$

- d. Menghitung luas tulangan:

$$A_s = \rho \times b \times d$$
$$= 0,003 \times 1200 \times 1105,5 = 4422 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ tul}} = \frac{1}{4} \times \pi \times \text{diameter tulangan}^2$$
$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19 = 283,385 \text{ mm}^2$$

- e. Menghitung jumlah tulangan:

$$n = \frac{A_s}{A_{s \text{ tulangan}}}$$
$$= \frac{4422}{283,385}$$
$$= 15,6 \quad = 16 \text{ tulangan}$$

Sehingga tulangan yang digunakan yaitu 16D19

Tulangan sengkang spiral:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{25} \times 1200 \times 1105,5 = 1105500 \text{ N.mm}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

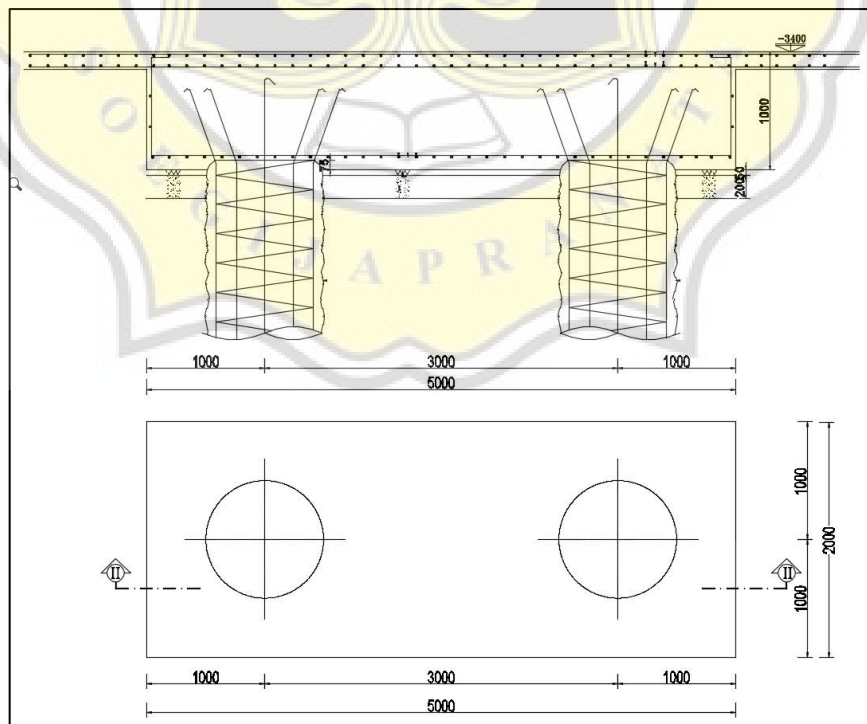
$$= \frac{110022,33}{0,60} = 183370,55 \text{ N}$$

$$110022,33 < 0,60 \times 1105500 (=663300)$$

$V_u < \phi V_c$ sehingga tulangan geser digunakan syarat minimum yaitu Ø10-150 mm

4.4.6. Pile cap

Perhitungan *pile cap* ini diambil dari kelompok tiang PC2 yang terdapat pada proyek pembangunan Hotel Ibis di Kulon Progo. Untuk kelompok tiang lain yaitu PC1, PC3, PC 4 dan PC5 akan langsung ditunjukkan hasil pada Tabel 4.11. Pada Gambar 4.21 diperlihatkan gambar *layout* yang menunjukkan *Pile Cap 2 (PC2)* yang akan dijadikan sebagai contoh perhitungan dengan dimensi 5 m×2 m.



Gambar 4.21. *Layout Pile Cap*

1. Data perencanaan perhitungan *pile cap*

Data-data yang digunakan untuk perhitungan *pile cap* sebagai berikut.



Joint Object	46			Joint Element	46		
	1	2	3		1	2	3
Force	-6.440E-02	-3.151	568.695				
Moment	-12.994	-0.141	-1.282E-02				

Gambar 4.22. Reaksi Pada Kolom Untuk *Pilecap*

P_u	= 568,695 ton
n_p	= 2 tiang
γ_{beton}	= 2400 kg/m ³
L_p	= 18 meter
$D_{pondasi}$	= 1 m
Mutu beton, f_c'	= 25 MPa
Mutu tulangan, f_y	= 420 MPa
λ	= 1 (beton normal)
Selimut beton	= 75 cm = 0,75 m
Panjang <i>pile cap</i>	= 5 m
Lebar <i>pile cap</i>	= 2 m
jarak tepi ke as tiang bor	= 1 m
dimensi kolom struktur	= 80 cm×80 cm = 0,8 m×0,8 m

2. Perhitungan beban terfaktor

$$V_u = \frac{P_u}{n_p} = \frac{568,695}{2}$$

$$= 284,34 \text{ ton}$$

Tebal asumsi kelompok tiang 903 cm > 30 cm (SNI 2847:2019 Pasal 13.4.2.2.)

d =tebal efektif *pile cap*

$$= h - c_v - d_{tul} = 1200 - 75 - 22 = 1103 \text{ mm}$$

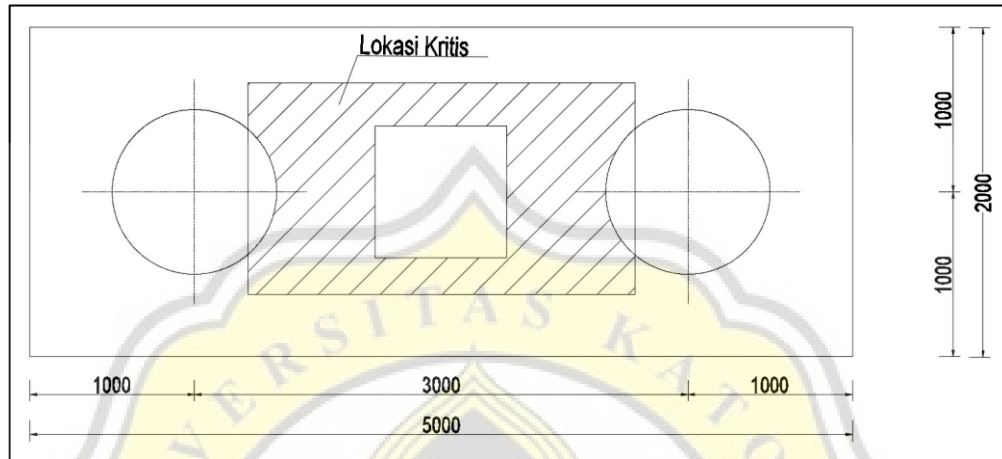
3. Perhitungan geser dua arah sekitar kolom

$$b_{ox} = 2 (c_x + d) = 2 \times (800 + 1103) = 3.806 \text{ mm}$$

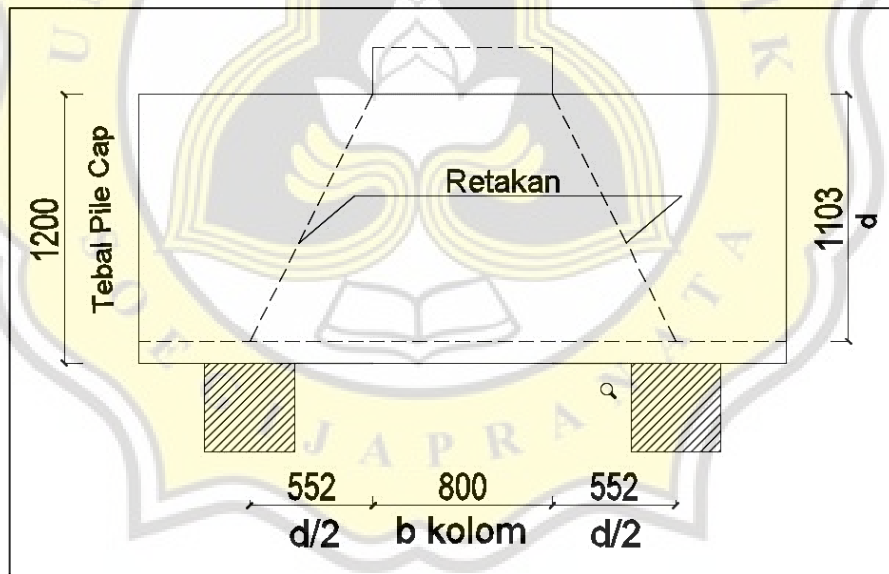
$$b_{oy} = 2 (c_y + d) = 2 \times (801,0 + 1103) = 3.806 \text{ mm}$$

$$b_o = b_{ox} + b_{oy} = 3.806 + 3.806 = 7.612 \text{ mm}$$

Berikut lokasi kritis gaya geser dua arah yang terdapat pada sekitar kolom:



Gambar 4.23. Lokasi Kritis Gaya Geser Dua Arah Disekitar Kolom



Gambar 4.24. Retak Akibat Geser Dua Arah

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 22.6.5.2, untuk nilai kuat geser 2 arah pada kolom, nilai V_c diambil nilai terkecil dari:

$$\begin{aligned} V_{c1} &= \frac{1}{3} \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \\ &= \frac{1}{3} \times 1 \times \sqrt{25} \times 7612 \times 1103 \\ &= 13993393,33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c2} &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o d \\
 &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1\sqrt{25} \times 7612 \times 1103 \\
 &= 21409891,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_s &= \text{Konstanta dalam perhitungan } \textit{pile cap} \text{ (Kolom dalam= 40,} \\
 &\quad \text{Kolom tepi= 30, kolom sudut=20)} \\
 &= 40
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c3} &= 0,83 \left(\frac{a_s d}{b_o} + 2\right) \times \lambda \sqrt{f_c'} b_o d \\
 &= 0,83 \times \left(\frac{40 \times 1103}{7612} + 2\right) \times 1\sqrt{25} \times 7612 \times 1103 \\
 &= 271644192,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Nilai V_c yang digunakan adalah 13.993.393,33

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \text{kuat geser beton, dengan } \phi=0,75 \\
 &= 0,75 \times 13.993.393,33 \text{ N} = 10.495.045 \text{ N} = 1070,18 \text{ ton} \\
 &= 1070,18 \text{ ton} > V_u \text{ tiang} \quad (=284,347) \quad \text{OK.}
 \end{aligned}$$

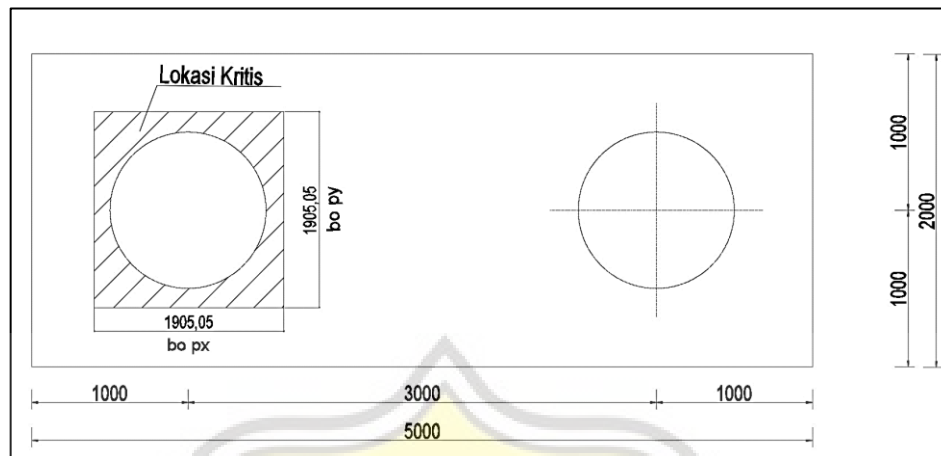
4. Perhitungan geser dua arah disekitar tiang pondasi

$$\begin{aligned}
 b_{o \text{ px}} &= \text{jarak tepi ke as tiang pondasi} + \frac{x}{2} + \frac{d}{2} \\
 &= 1000 + \frac{707,11}{2} + \frac{1103}{2} \\
 &= 1000 + 353,5 + 551,5 \\
 &= 1905,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{o \text{ py}} &= \text{jarak tepi ke as tiang pondasi} + \frac{y}{2} + \frac{d}{2} \\
 &= 1000 + \frac{707,11}{2} + \frac{1103}{2} \\
 &= 1000 + 353,5 + 551,5 \\
 &= 1905,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{o \text{ p}} &= b_{o \text{ px}} + b_{o \text{ py}} \\
 &= 1905,05 \text{ mm} + 1905,05 \text{ mm} \\
 &= 3810,11
 \end{aligned}$$

Pada Gambar 4.25. diperlihatkan gaya geser dua arah yang terdapat pada sekitar tiang bor.



Gambar 4.25. Lokasi Kritis Disekitar Tiang Bor

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 22.6.5.2, untuk nilai kuat geser 2 arah pada kolom, nilai V_c diambil nilai terkecil dari:

$$\begin{aligned} V_{c1} &= \frac{1}{3} \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \\ &= \frac{1}{3} \times 1 \times \sqrt{25} \times 3810,11 \times 1103 \\ &= 7004246,299 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c2} &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times 1 \sqrt{25} \times 3810,11 \times 1103 \\ &= 10716496,84 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_s &= \text{Konstanta dalam perhitungan } \textit{pile cap} \text{ (Kolom dalam}= 40, \\ &\quad \text{Kolom tepi}= 30, \text{ kolom sudut}=20) \\ &= 40 \end{aligned}$$

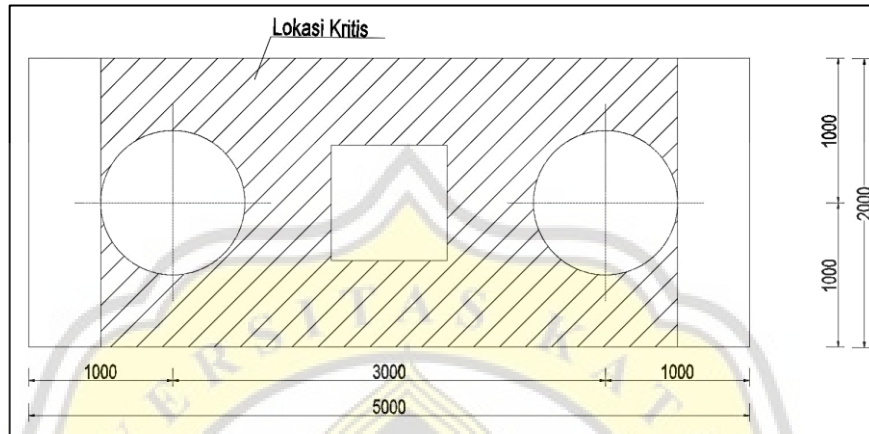
$$\begin{aligned} V_{c3} &= 0,83 \left(\frac{a_s d}{b_o} + 2 \right) \times \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \\ &= 0,83 \times \left(\frac{40 \times 903}{3210,11} + 2 \right) \times 1 \sqrt{25} \times 3810,11 \times 1103 \\ &= 135968652,3 \text{ N} \end{aligned}$$

Nilai V_c yang digunakan adalah 7.004.246,299 N

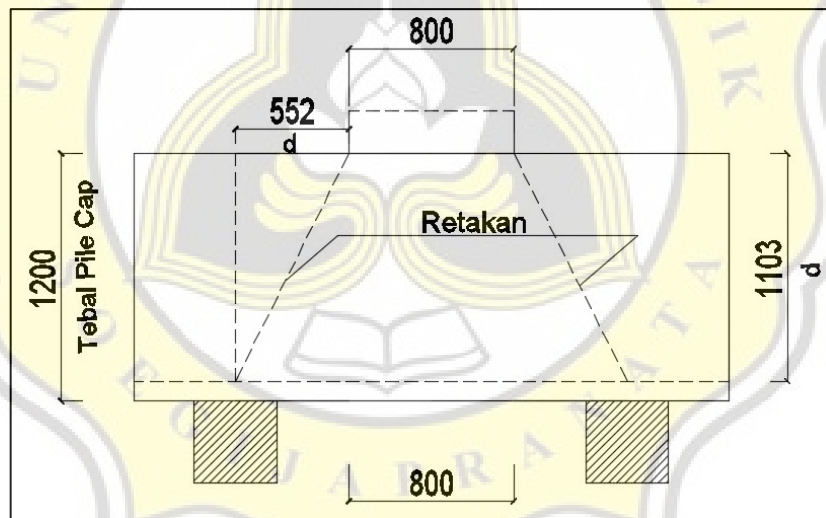
$$\begin{aligned} \phi V_c &= \text{kuat geser beton, dengan } \phi=0,75 \\ &= 0,75 \times 7.004.246,299 \text{ N} = 5.253.184,72 \text{ N} \\ &= 535,667 \text{ ton} \\ &= 535,667 \text{ ton} > V_u \text{ tiang} \quad (=284,347) \quad \text{OK.} \end{aligned}$$

5. Cek geser satu arah

Cek geser satu arah tidak diperlukan lagi karena daerah d sudah melebihi daerah titik berat(as) tiang bor berikut (SNI 2847:2019 Pasal 13.4.2.5)



Gambar 4.26. Geser Satu Arah pada Kelompok Tiang PC 2



Gambar 4.27. Retak Akibat Geser Satu Arah pada Kelompok Tiang PC 2

6. Perhitungan tulangan *pile cap*

Beban yang bekerja:

$$P_u = 568,695 \text{ ton}$$

$$\text{Mutu beton, } f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja, } f_y = 420 \text{ MPa}$$

Lebar penampang kritis B'

$$B' = \frac{\text{lebar } pile \text{ cap}}{2} - \frac{\text{lebar kolom}}{2}$$

$$= \frac{5}{2} - \frac{0,8}{2}$$

$$= 2,1 \text{ m}$$

Berat *pile cap* pada penampang kritis q' :

$$q' = 2,4 \times L$$

$$= 2,4 \times 5 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$$

$$= 14,4 \text{ ton/m}$$

$$M_u = 2 \times \left(\frac{P_u}{2} \right) \times s - \frac{1}{2} \times q' \times B'^2$$

$$= 2 \times \left(\frac{568,695}{2} \right) \times 1 - \frac{1}{2} \times 14,4 \times 2,1^2$$

$$= 650,68 \text{ t.m}$$

$$= 6381,04 \text{ kN.m}$$

$$A_s = \text{Luas tulangan yang digunakan dicoba D19-150}$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times (b_2/150)$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \times (5000/150)$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 361 \times 33,33$$

$$= 9454,76 \text{ mm}^2$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} \times \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b^2} \right)$$

$$= 9454,76 \times 420 \times \left(1103 - \frac{1}{2} \times \frac{9454,76 \times 420}{0,85 \times 25 \times 5000} \right)$$

$$= 4305806689 \text{ N.mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times M_n$$

$$= 0,8 \times 4305806689 \text{ N.mm}$$

$$= 3444645352 \text{ N.mm}$$

$$= 3444645,35 \text{ kN.m} > M_u = 5279,14 \text{ kN.m} \quad \text{OK}$$

Kebutuhan tulangan tekan pada bagian atas diambil sebesar 20% dari A_s tulangan utama.

Dicoba gunakan tulangan D13-150

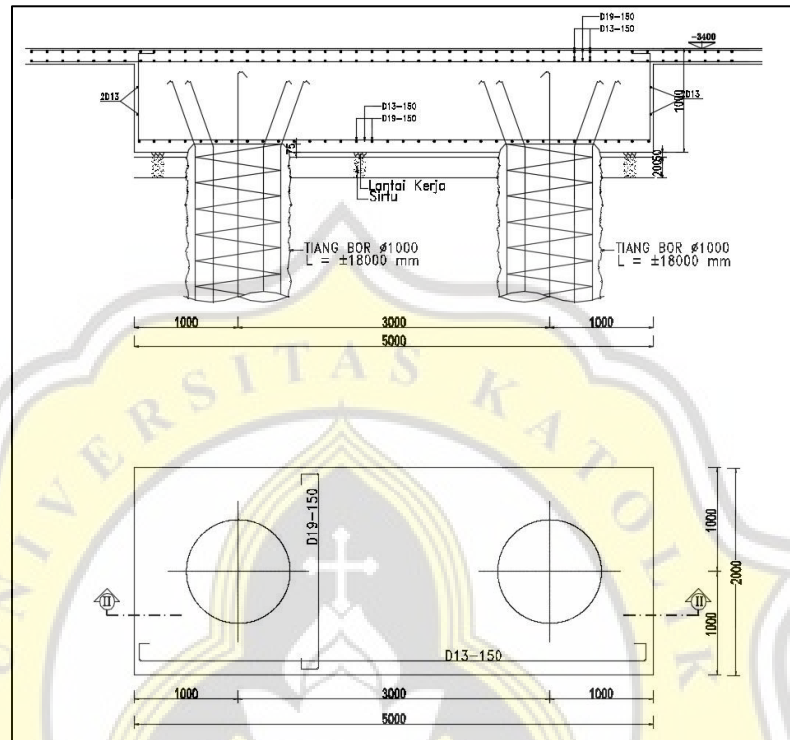
$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times (b_2/150)$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \times (5000/150)$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 169 \times 33,33$$

$$= 4426,19 \text{ mm}^2 > 20\% \times 9554,76 \text{ mm}^2 = 1890,95 \quad \text{OK}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, pada Gambar 4.28 diperlihatkan hasil dari penulangan *pile cap*.



Gambar 4.28. Penulangan *Pile Cap*

Pada Tabel 4.9 diperlihatkan rekapitulasi hasil dari dimensi-dimensi tulangan *pile cap* yang akan digunakan, serta jumlah tulangnya.

Tabel 4.9. Rekapitulasi Dimensi Tulangan *Pile Cap*

Nama	Jumlah tiang	Ukuran (m)	Tulangan bawah	Tulangan atas	Tulangan susut
PC 1	1	2 m × 2 m	D13-150	D13-150	2D13
PC 2	2	5 m × 2 m	D19-150	D13-150	2D13
PC 3	3	8 m × 2 m	D19-150	D13-150	2D13
PC 4	4	11 m × 2 m	D19-150	D13-150	2D13
PC 8	8	8,15 m × 6,7 m	D22-150	D13-150	2D13

4.4.7. Tie beam

Perhitungan *tie beam* dalam perhitungan struktur ini diambil dari *tie beam* yang berada pada area *basement* hotel dengan data-data perencanaan sebagai berikut:

1. Data desain balok 500×750 mm

Mutu beton, f_c' = 25 MPa

Mutu tulangan, f_y = 420 MPa

Lebar balok (b) = 500 mm

Tinggi balok (h) = 750 mm

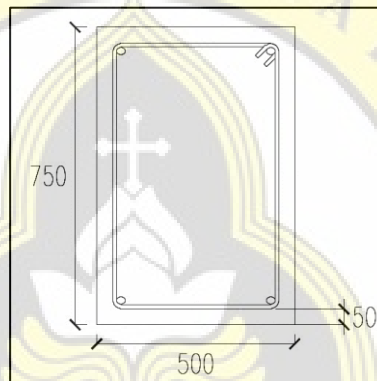
Diameter tulangan lentur = D22

Diameter tulangan bersih = D10

Selimut beton = 50 mm

Bentang bersih = 8300 mm

Pada Gambar 4.29 diperlihatkan penampang *tie beam* yang digunakan.



Gambar 4.29. Penampang *Tie Beam*

Berikut merupakan hasil dari *run analysis* dalam bentuk rekap gaya yang bekerja pada balok menggunakan bantuan program SAP2000 yang dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. *Output* Gaya Dalam Balok

Frame	Station	Output	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	(m)	Case	(kN)	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)
65	4,5	UDCON2	0	-17,989	0	-13,229	0	131,8511
65	4,5	UDCON3	0	-17,989	0	-13,229	0	131,8511
65	4,5	UDCON2	0	11,753	0	6,5663	0	130,103
65	4,5	UDCON3	0	11,753	0	6,5663	0	130,103
65	5	UDCON2	0	22,425	0	6,5663	0	121,5586
65	5	UDCON3	0	22,425	0	6,5663	0	121,5586
65	4	UDCON2	0	-28,661	0	-13,229	0	120,1885
65	4	UDCON3	0	-28,661	0	-13,229	0	120,1885
82	4,25467	UDCON2	0	10,403	0	14,2917	0	116,1724
82	4,25467	UDCON3	0	10,403	0	14,2917	0	116,1724
82	4,25467	UDCON2	0	-6,289	0	1,7711	0	116,0001
82	4,25467	UDCON3	0	-6,289	0	1,7711	0	116,0001
82	3,8164	UDCON2	0	-15,643	0	1,7711	0	111,1939
82	3,8164	UDCON3	0	-15,643	0	1,7711	0	111,1939
82	4,64233	UDCON2	0	18,677	0	14,2917	0	110,5361

2. Perhitungan kebutuhan tulangan utama

Balok *tie beam* yang akan dihitung memiliki data perencanaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}b &= 500 \text{ mm} &&= 19,69 \text{ in} \\h &= 750 \text{ mm} &&= 29,52 \text{ in} \\d' &= 50+10+11 &&= 71 \text{ mm} &&= 2,8 \text{ in} \\d &= 750 - 71 &&= 679 \text{ mm} &&= 26,73 \text{ in} \\f_c' &= 25 \text{ MPa} &&= 3625,94 \text{ psi} \\f_y &= 420 \text{ MPa} &&= 60915,85 \text{ psi} \\M_u &= 131,8511 &&= 97248,38 \text{ ft-k} \\V_u &= 17,989 &&= 13268,01 \text{ ft-k}\end{aligned}$$

Menghitung persentase maksimal tulangan baja dan persentase minimum tulangan baja:

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,8 \beta f_c'}{f_y} \left[\frac{87000}{87000 + f_y} \right] \\&= \frac{0,8 \times 0,85 \times 3625,94}{60915,85} \left[\frac{87000}{87000 + 60915,85} \right] \\&= 0,0253 \\ \rho_{max} &= 0,75 \rho_b \\&= 0,75 \times 0,0253 \\&= 0,0190 \\ \rho_{min1} &= \frac{3 \sqrt{f_c'}}{f_y} \\&= \frac{3 \sqrt{3625,94}}{60915,85} \\&= 0,00297 \\ \rho_{min2} &= \frac{200}{f_y} \\&= \frac{200}{60915,85} \\&= 0,00328\end{aligned}$$

Digunakan ρ_{min} yang terbesar sehingga digunakan $\rho_{min2} = 0,00328$

a. Perhitungan luas tulangan utama (bagian tumpuan)

$$M_u = -234,37 \text{ kN.m} = -172,86 \text{ lb.ft-k}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{12 \times M_u \times 1.000}{\phi b d^2} \\ &= \frac{12 \times 172,86 \times 1.000}{0,9 \times 19,69 \times 26,73^2} \\ &= 163,84 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \left(\frac{0,5 f_c'}{f_y}\right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{\beta f_c'}}\right) \\ &= \left(\frac{0,5 \times 3625,9}{60915,85}\right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 163,83}{0,85 \times 3625,9}}\right) \\ &= 0,0028\end{aligned}$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka digunakan nilai $\rho = 0,0033$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 19,69 \times 26,73 \\ &= 1,728 \text{ in}^2 \\ &= 1114,65 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jadi tulangan utama bagian tumpuan yang akan digunakan adalah 4D22, dengan luas tulangan total:

$$\begin{aligned}A_s &= \text{jumlah tulangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 1519,76 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

b. Perhitungan luas tulangan utama (bagian lapangan)

$$M_u = 131,85 \text{ kN.m} = 97,25 \text{ lb.ft-k}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{12 \times M_u \times 1.000}{\phi b d^2} \\ &= \frac{12 \times 97,25 \times 1.000}{0,9 \times 19,69 \times 26,73} \\ &= 92,18 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \left(\frac{0,5 f_c'}{f_y}\right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{\beta f_c'}}\right) \\ &= \left(\frac{0,5 \times 3625,9}{60915,85}\right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 92,18}{0,85 \times 3625,9}}\right) \\ &= 0,0015\end{aligned}$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka digunakan nilai $\rho = 0,0033$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 19,69 \times 26,73 \\ &= 1,728 \text{ in}^2 \\ &= 1114,65 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jadi tulangan utama bagian lapangan yang akan digunakan adalah 4D22, dengan luas tulangan total:

$$\begin{aligned}A_s &= \text{jumlah tulangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times \varnothing^2 \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 1519,76 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

3. Perhitungan kebutuhan tulangan geser

Setelah menentukan tulangan utama, selanjutnya yaitu menghitung kebutuhan tulangan geser. Dalam menentukan tulangan geser ini harus sesuai dengan persyaratan SNI:2847:2013. Hal ini dikarenakan tulangan geser/ tulangan transversal ini harus mampu untuk menahan struktur ketika terjadinya sendi plastis yang terjadi pada ujung balok akibat goyangan gempa:

a. Menghitung gaya geser desain

Dalam perhitungan gaya geser desain ini harus melihat momen yang terjadi pada ujung balok. Momen ujung tersebut harus dihitung berdasarkan nilai tegangan yang terjadi yaitu sebesar $1,25f_y$ dan faktor reduksi kekuatan lentur sebesar $\phi=1$. Perhitungan gaya geser desain ini akan dijabarkan sebagai berikut:

Momen ujung tumpuan kiri negatif (M_{pr1}):

$$\begin{aligned}a_{pr} &= \frac{A_s \cdot 1,25 \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{1519,76 \times 1,25 \times 60915,85}{0,85 \times 3625,9 \times 500} \\ &= 60,08 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{pr1} &= A_s \cdot 1,25 f_y (d - 0,5 a_{pr}) \\ &= 1519,76 \times 1,25 \times 60915,85 \times (679 - 0,5 \times 60,08) \\ &= 414232174,7 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

Momen ujung tumpuan kanan positif (M_{pr4}):

$$\begin{aligned}
 a_{pr} &= \frac{A_s \cdot 1,25 \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\
 &= \frac{1519,76 \times 1,25 \times 60915,85}{0,85 \times 3625,9 \times 500} \\
 &= 60,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr4} &= A_s \cdot 1,25 f_y (d - 0,5 a_{pr}) \\
 &= 1519,76 \times 1,25 \times 60915,85 \times (679 - 0,5 \times 60,08) \\
 &= 414232174,7 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Gaya Geser terfaktor akibat beban gravitasi:

$$V_{g \text{ kiri}} = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = 17989 \text{ N} \quad (\text{Dari SAP2000})$$

$$V_{g \text{ kanan}} = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = 17989 \text{ N} \quad (\text{Dari SAP2000})$$

Gaya Geser akibat terjadinya goyangan ke kiri:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Sway}} &= \frac{M_{pr1} + M_{pr4}}{l_n} \\
 &= \frac{414232174,7 + 414232174,7}{8500} \\
 &= 97466,39 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya geser desain yang didapatkan dari akibat adanya goyangan ke kiri adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{e1} &= V_{\text{Sway}} + V_{g \text{ kiri}} \\
 &= 97466,39 + 17989 \\
 &= 115455,39 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e2} &= V_{\text{Sway}} - V_{g \text{ kanan}} \\
 &= 97466,39 - 17989 \\
 &= 79477,39 \text{ N}
 \end{aligned}$$

b. Menghitung tulangan geser di daerah sendi plastis

Pada daerah balok yang akan terjadi sendi plastis sepanjang 2h muka kolom yaitu $2 \times 750 = 1500$ mm, sehingga kontribusi beban yang akan menahan gaya geser diambil=0 apabila gaya tekan aksial terfaktor kurang dari $A_g f_c' / 20$.

$$\text{Nilai } P_u = 0 < A_g f_c' / 20 (=468750) \text{ OK}$$

Sehingga nilai V_c yang digunakan yaitu =0

Kebutuhan tulangan geser di tumpuan kiri:

$$V_e = 115455,39 \text{ N}$$

$$d = 679 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_e}{\phi} - V_c \\ &= \frac{115455,39}{0,75} - 0 = 153940,53 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0,66 \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= 0,66 \sqrt{25} \times 500 \times 679 = 1120350 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ pakai}} = 153940,53 \text{ N}$$

Sengkang yang digunakan merupakan sengkang dengan D10 ($A_v = 235,71$)

$$S = \frac{235,71 \times 420 \times 659}{119575,79} = 545,59 \text{ mm}$$

Syarat-syarat yang terdapat pada tulangan transversal pada daerah-daerah yang mengalami sendi plastis menurut SNI 03-2847:2013 adalah sebagai berikut:

$$S = d/4 = 679/4 = 169,75 \text{ mm}$$

$$S = 6 \times d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$S = 150 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka digunakan sengkang D10-130 mm

- c. Pada daerah diluar sendi plastis, yaitu diluar $2h$ dari muka kolom $= 2 \times 750 = 1500 \text{ mm}$, sehingga gaya geser desain dihitung sebagai berikut:

$$V_{e \text{ lapangan}} = \frac{(l_n - 2h)(V_{e \text{ max1}} - V_{e \text{ max2}})}{l_n} + V_{e \text{ max2}}$$

$$V_{e \text{ lapangan}} = \frac{(8500 - 1500)(115455,39 - 79477,39)}{8500} + 79477,39$$

$$= 109106,34 \text{ N}$$

Untuk daerah yang berada diluar sendi plastis ini, diluar $2h$ dari muka kolom $> 2 \times 750$. Beton dianggap dapat menerima dan berkontribusi untuk menahan gaya geser (V_c) yang terjadi sehingga:

$$V_c = (0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}) \cdot bw \cdot d$$

$$= (0,17 \times 1 \times \sqrt{25}) \times 500 \times 679$$

$$= 288575 \text{ N}$$

$$V_s = \left(\frac{V_{e \text{ lapangan}}}{\phi} \right) - V_c$$

$$= \left(\frac{109106,34}{0,75} \right) - 288575$$

$$= -143099,89 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ max}} = 0,66 \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d$$

$$= 0,66 \sqrt{25} \times 500 \times 679$$

$$= 1120350 \text{ N}$$

$V_{s \text{ pakai}}$ diambil yang terkecil sehingga $V_{s \text{ pakai}} = -168964,62 \text{ N}$

Pada perhitungan ini digunakan sengkang dua kaki dengan D10 ($A_v = 157,14 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$S = \frac{157,14 \times 420 \times 679}{-168964,62}$$

$$= -313,16 \text{ mm}$$

Syarat-syarat yang terdapat pada tulangan transversal pada daerah-daerah luar sendi plastis menurut SNI 03-2847:2013 adalah sebagai berikut:

$$S = d/2$$

$$= 679/2$$

$$= 339,5 \text{ mm}$$

$$S = 300 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan sengkang D10-300 mm

4. Perhitungan kebutuhan tulangan utama dan tulangan geser dalam menahan torsi

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 15.5.1, pengaruh torsi untuk menahan struktur non-prategang jika T_u kurang dari $\phi \sqrt{f_c'} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$ maka torsi diabaikan.

$T_u = 13,229 \text{ kN.m}$ (Dari SAP2000)

$$\phi \sqrt{f_c'} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} = 0,85 \times \sqrt{25000} \frac{0,5 \times 0,75^2}{2 \times (0,5 + 0,75)} = 7,56 \text{ kN.m}$$

Karena $T_u > \phi \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$, maka diperlukan tulangan torsi.

a. Pemeriksaan kapasitas penampang beton terhadap torsi

Pada pemeriksaan ini digunakan selimut beton setebal 5 cm dan sengkang diameter 10 mm.

$$\begin{aligned}x_l &= b-2 \text{ (Selimut beton} + \emptyset/2) \\ &= 19,69 - 2 \times (1,97 + 0,039/2) \\ &= 16,14 \text{ in}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y_l &= b-2 \text{ (Selimut beton} + \emptyset/2) \\ &= 29,53 - 2 \times (1,97 + 0,039/2) \\ &= 25,98 \text{ in}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{oh} &= 16,14 \times 25,98 \\ &= 419,43 \text{ in}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 419,43 \\ &= 356,51 \text{ in}^2\end{aligned}$$

Tulangan bawah digunakan D19 (diameter-19 mm)

$$\begin{aligned}d &= 29,53 - 1,97 - 0,039 - \left(\frac{0,748}{2}\right) \\ &= 26,79 \text{ in}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}p_h &= 2 (x_l + y_l) \\ &= 2 \times (16,14 + 25,98) \\ &= 84,25 \text{ in}\end{aligned}$$

Cek penampang beton cukup besar untuk menahan T_u

$$\begin{aligned}V_c &= 2 \sqrt{f'_c} b d \\ &= 2 \times \sqrt{3625,94} \times 19,69 \times 26,79 \\ &= 63514,001 \text{ lb}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= 17,989 \text{ kN} \\ &= 4044,11 \text{ lb}\end{aligned}$$

Selanjutnya adalah menentukan kapasitas penampang beton terhadap gaya torsi yang ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u^2}{b d}\right) + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b d} + 8 \sqrt{f_c'}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{4044,11}{19,69 \times 26,79}\right) + \left(\frac{9,75 \times 77,9}{1,7 \times 419,43^2}\right)^2} \leq 0,85 \left(\frac{63514,001}{19,69 \times 26,79} + 8 \sqrt{3625,94}\right)$$

7,67 psi ≤ 512,06 psiOK

Berdasarkan perhitungan di atas, diketahui bahwa penampang beton cukup untuk menahan torsi.

b. Menentukan tulangan torsi yang diperlukan:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{9,75}{0,85}$$

$$= 11,479 \text{ ft-k}$$

$$= 138045,02 \text{ in-lb}$$

Diasumsikan $\theta=45$ derajat

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 A_o f_y \cot \theta}$$

$$= \frac{138045,02}{2 \times 356,51 \times 60915,85 \times 1}$$

$$= 0,0032 \text{ in}^2/\text{in} \text{ untuk satu kaki sengkang}$$

Tulangan tambahan yang diperlukan untuk torsi:

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}}\right) \cot^2 \theta$$

$$= 0,0032 \times 84,25 \times \frac{60915,85}{60915,85} \times (1,0)^2$$

$$= 0,27 \text{ in}^2$$

$$\text{Min } A_l = \frac{5 \sqrt{f_c'} A_{cp}}{f_{yl}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{f_{yv}}{f_{yl}}$$

$$= \frac{5 \sqrt{3625,94} \times 581,44}{60915,85} - (0,0037) \times 77,9 \frac{60915,85}{60915,85}$$

$$= 2,61 \text{ in}^2 > 0,27 \text{ in}^2 \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$= 2,61 \text{ in}^2 = 1680,69 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 6D19, $A_s = 1700,31 \text{ mm}^2$

c. Menghitung luas tulangan geser yang diperlukan:

$$V_u = 4044,11 \text{ lb} < \frac{1}{2} \phi V_c \left(\frac{1}{2} \times 0,85 \times 61647,32\right) = 26200,11$$

Karena $V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$, maka tidak diperlukan tulangan geser.

5. Panjang Penyaluran tulangan balok

a. Panjang penyaluran tulangan pada kondisi tarik

Data-data dan parameter:

$$db = 22 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1,0$$

$$\psi_e = 1,0.$$

$$\psi_s = 1,0.$$

$$\lambda = 1,0$$

$$\begin{aligned} cb &= \text{decking} + D_{tul \text{ geser}} + 0,5 D_{tul \text{ lentur}} \\ &= 70 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 0,5 \times 22 \text{ mm} \\ &= 80 \text{ mm} + 11 \text{ mm} \\ &= 91 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$K_{tr} = 0$$

Panjang penyaluran untuk tulangan tarik dihitung menggunakan persamaan yang ada pada SNI 2847:2013 Pasal 12.2.3.

$$(cb + K_{tr})/db = (91 + 0)/22 = 4,1 > 2,5. \text{ Maka diambil } = 2,5$$

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left(\frac{cb + K_{tr}}{db}\right)} \right) \times db$$

$$= \left(\frac{420}{1,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \times \frac{1 \times 1 \times 1}{(4,1)} \right) \times 22$$

$$= 406 \text{ mm}$$

$$l_{d \text{ min}} = 300 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan maka digunakan $l_d = 400 \text{ mm}$

b. Panjang penyaluran tulangan pada kondisi tekan

Panjang penyaluran tulangan pada kondisi tekan tidak boleh diambil lebih kecil dari 200 mm menurut SNI 2847:2013 Pasal 12.3.1.)

$$l_{dc1} = \left(\frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{0,24 \times 420}{1,0 \sqrt{25}} \right) \times 22 \\
 &= 443,52 \text{ mm} \\
 l_{dc2} &= (0,043 f_y) d_b \\
 &= (0,043 \times 420) \times 22 \\
 &= 397,32
 \end{aligned}$$

Maka, dipakai $l_{dc} = 443 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$

c. Panjang kait yang dibutuhkan menurut SNI 2847:2013 menggunakan persamaan sebagai berikut:

Diasumsikan kait yang dihitung 90°

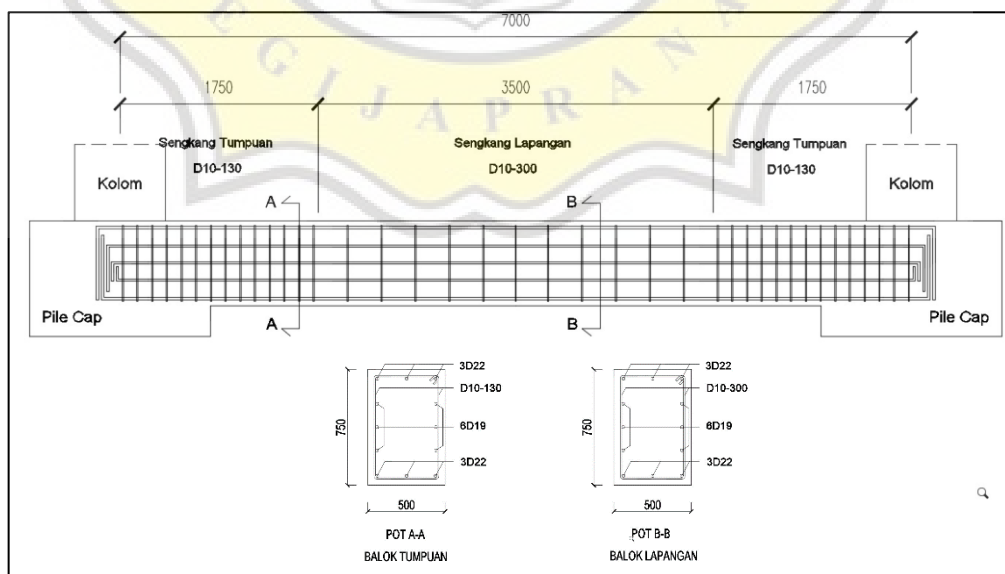
$$\begin{aligned}
 l_{dh} &= \left(\frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \\
 &= \left(\frac{0,24 \times 1,0 \times 420}{1,0 \times \sqrt{25}} \right) \times 22 \\
 &= 443,52 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, dipakai $l_{dh} = 450 \text{ mm}$

$$12 d_b = 12 \times 22 = 264 \text{ mm}$$

Maka, dipakai $= 270 \text{ mm}$

Berdasarkan perhitungan diatas maka pada Gambar 4.30 diperlihatkan potongan dari penulangan *tie beam*.



Gambar 4.30. Penulangan *Tie Beam*

4.5. Analisis Respon Spektrum Gempa

Pada tahap analisis respon spektrum ini dilakukan berdasarkan SNI 1726-2012. Pada proses analisis ini menggunakan bantuan *website* PUSKIM untuk mendapatkan grafik spektral percepatan yang akan digunakan untuk perhitungan respon spektrum ini. Langkah-langkah yang akan dilakukan pada analisis ini akan dijabarkan sebagai berikut.

4.5.1. Menentukan Klasifikasi Situs

Pada tahap menentukan klasifikasi situs ini akan menggunakan nilai N-SPT dari data tanah yang ada. Kemudian nantinya akan diketahui klasifikasi situs pada daerah tersebut dengan mengkategorikan tanah berdasarkan Tabel 2.4. Pada Tabel 4.11. diperlihatkan tabel hasil perhitungan dari data N-SPT yang ada pada lokasi proyek yang dijadikan sebagai studi kasus.

Tabel 4.11. Perhitungan Nilai N untuk Menentukan Klasifikasi Situs

Layer	Depth, D(m)		N-SPT				Thick/N
	Cum	Thick	N1	N2	N3	N	
0	0	0				0	0.00
1	2	2				3	0.67
2	4	2				3	0.67
3	6	2				2	1.00
4	8	2				1	2.00
5	10	2				1	2.00
6	12	2				3	0.67
7	14	2				42	0.05
8	16	2				29	0.07
9	18	2				36	0.06
10	20	2				63	0.03
11	22	2				49	0.04
12	24	2				45	0.04
13	26	2				7	0.29
14	28	2				10	0.20
15	30	2				11	0.18
	total	30					7.96
	Mean		Total $\sigma_{Di}/(\sigma_{Di}/N_i)$				3.77

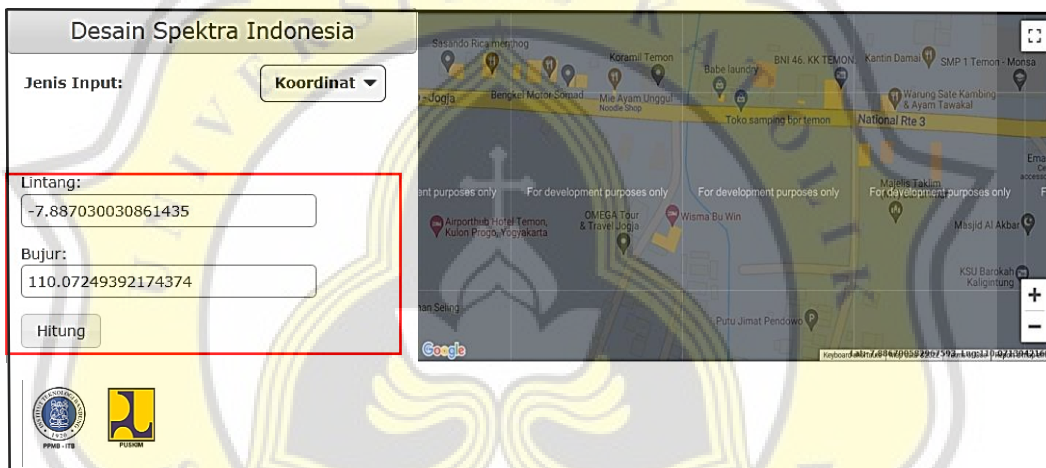
Berdasarkan tabel diatas, diketahui nilai total N rata-rata sebesar 3,77. Berdasarkan tabel klasifikasi situs, nilai tersebut <15 dan masuk kedalam kategori SE (tanah lunak).

4.5.2. Mengolah Data Respon Spektrum

Setelah menentukan jenis tanah, selanjutnya adalah proses pengolahan data respon spektrum yang akan digunakan pada proses analisis. Langkah-langkah dalam proses ini akan dijabarkan sebagai berikut:

1. Menginput titik koordinat pada *website* PUSKIM

Setelah menentukan klasifikasi situs, selanjutnya masuk kedalam *website* PUSKIM (Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman) yang dapat diakses melalui internet, kemudian memasukkan titik koordinat lokasi proyek seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31. Proses Menginput Titik Koordinat Pada *Website* PUSKIM

Setelah memasukkan titik koordinat pada arah lintang dan bujur seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.32 tersebut, selanjutnya akan muncul tabel yang akan memunculkan beberapa data variabel yang dicari sesuai dengan letak daerah yang ingin digunakan sebagai studi kasus. Pada tabel tersebut salah satunya akan muncul Pada jenis batuan, pada bagian tersebut terlebih dahulu harus diubah menjadi tanah lunak sesuai dengan klasifikasi situs yang sudah ditentukan pada tahap sebelumnya. Karena berdasarkan klasifikasi situs, daerah Kulon Progo termasuk kedalam klasifikasi tanah lunak, maka jenis batuan diubah menjadi tanah lunak. Berdasarkan hasil dari yang direncanakan maka didapatkan beberapa data berupa variabel dan nilai yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya yang diperlihatkan sebagai berikut pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Data-Data Yang Didapatkan Dari *Website* PUSKIM

Variabel	Nilai
PGA (g)	0,397
S _S (g)	0,869
S ₁ (g)	0,359
C _{RS}	1,013
C _{R1}	0
F _{PGA}	0,908
F _A	1,057
F _V	2,565
PSA (g)	0,361
S _{MS} (g)	0,919
S _{M1} (g)	0,92
S _{DS} (g)	0,612
S _{D1} (g)	0,614
T ₀ (detik)	0,2
T _S (detik)	1,002

- Menentukan kategori resiko dan nilai faktor keutamaan gempa
 Sebelum menentukan kategori desain seismik, selanjutnya harus menentukan terlebih dahulu kategori resiko pada bangunan yang dijadikan sebagai studi kasus. Berdasarkan fungsi pemanfaatan bangunan, Hotel pada daerah Kulon Progo termasuk kedalam kategori resiko II karena diklasifikasikan sebagai gedung apartemen/rumah susun. Berdasarkan Tabel 4.13. diperlihatkan nilai faktor keutamaan gempanya bernilai 1,0.

Tabel 4.13. Faktor Keutamaan Gempa, I_e

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

- Menentukan kategori desain seismik
 Selanjutnya yaitu menentukan kategori desain seismik berdasarkan kategori risikonya. Pada tahap ini menggunakan acuan yang diambil dari SNI 1726:2019. Pada Tabel 4.14. dan 4.15. diperlihatkan Tabel kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik. Pada data dari *website* PUSKIM, didapatkan nilai $S_{DS} = 0,612$ dan $S_{D1} = 0,614$.

Tabel 4.14. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 4.15. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019)

Dapat disimpulkan dari hasil yang didapatkan, kedua nilai ini sama-sama tergolong kedalam kelas situs D.

4. Menentukan parameter struktur R , C_d dan Ω_0

Setelah menentukan kategori desain seismik, selanjutnya yaitu menentukan parameter struktur R , C_d dan Ω_0 sebagai nilai parameter struktur bangunan untuk rangka beton bertulang pemikul momen khusus. Parameter ini dianggap sebagai sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal yang harus memenuhi salah satu tipe yang berada pada tabel faktor yang ditunjukkan pada Tabel 4.16. Berdasarkan SNI 1726:2019, untuk sistem penahanan gaya gempa dengan rangka beton bertulang sebagai pemikul momen khusus, maka didapatkan nilai :

$$R = 8$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_0 = 3$$

Tabel 4.16. Faktor R, C_d dan Ω₀ Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R ^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω ₀ ^b	Faktor pembesaran defleksi, C _d ^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h _n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	TI ^h	TI ^h
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber: SNI 1726:2019)

5. Menghitung periode fundamental perkiraan

Berdasarkan SNI 1726:2019, periode fundamental perkiraan ini dihitung menggunakan nilai C_t dan x.

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

$$= 0,0466 \times 0,9 \times 37^{0,9}$$

$$= 1,202$$

untuk nilai C_t dan x didapatkan dari tabel SNI 1726:2019 yang diperlihatkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C _t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: SNI 1726:2019)

6. Menghitung batas atas periode struktur

Periode struktur bangunan ini dibatasi dengan cara mengalikan nilai periode fundamental perkiraan dengan koefisien C_u . Berdasarkan nilai $S_{D1}(0,614)$ yang didapatkan dari PUSKIM yaitu $0,6g > 0,4g$ maka didapatkan nilai $C_u = 1,4$ berdasarkan Tabel 4.16.

$$\begin{aligned} C_u \times T_a &= 1,4 \times 1,202 \\ &= 1,682 \text{ detik} \end{aligned}$$

Periode fundamental struktur (T) yang digunakan berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1. berdasarkan persyaratan sebagai berikut:

Jika $T_c > C_u \times T_a$ (digunakan $T = C_u \times T_a$),

Jika $T_a < T_c < C_u \times T_a$ (digunakan $T = T_c$),

Jika $T_c < T_a$ (digunakan $T = T_a$)

Dari hasil analisis program SAP2000 didapatkan:

$$T_c = 1,386 \text{ detik,}$$

$$T_a = 1,202 \text{ detik}$$

$$C_u \times T_a = 1,682 \text{ detik}$$

Karena $T_a < T_c < C_u \times T_a$ maka periode fundamental struktur yang digunakan adalah $T = 1,386$ detik

Tabel 4.18. Koefisien C_u

Parameter Spektral Desain Pada 1 s, S_{D1}	Percepatan Respon	Koefisien C_u
$\geq 0,4$		1,4
0,3		1,4
0,2		1,5
0,15		1,6
$\leq 0,1$		1,7

7. Menentukan skala faktor

Perhitungan skala faktor ini menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Skala faktor} &= \frac{g \times I_e}{R} \\ &= \frac{9810 \times 1}{8} \\ &= 1226,250 \text{ Nm} \end{aligned}$$

8. Pengolahan data nilai T dan S_a

Setelah melakukan perhitungan-perhitungan pada data yang akan digunakan, selanjutnya data akan di olah menggunakan bantuan *software* Microsoft Excel sehingga akan didapatkan sebuah grafik spektral percepatan (g) yang menghubungkan antara T (waktu) dan S_a (Percepatan). Grafik spektral percepatan ini berfungsi untuk mengetahui gaya geser maksimum yang akan berekrja pada dasar struktur. Data sebelum diolah dan data setelah diolah akan diperlihatkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19. Nilai T dan S_a Sebelum Diolah Dan Setelah Diolah

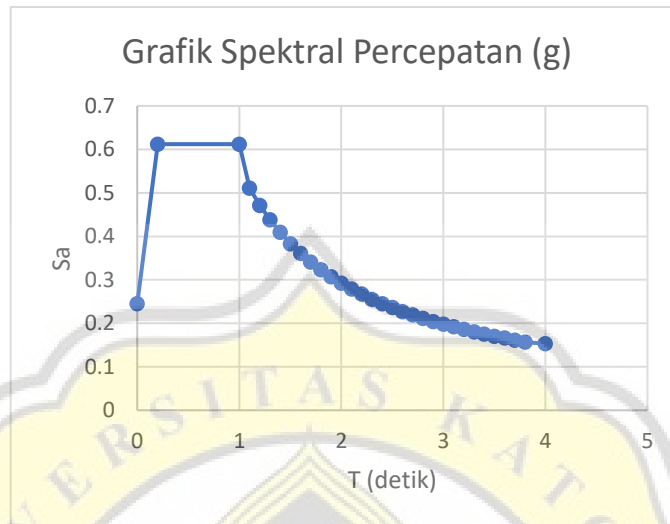
T(detik)	S_a (g)
0	0,245
0,2	0,612
1,002	0,612
1,102	0,511
1,202	0,471
1,302	0,438
1,402	0,409
1,502	0,383
1,602	0,361
1,702	0,341
1,802	0,323
1,902	0,307
2,002	0,292
2,102	0,279
2,202	0,267
2,302	0,255
2,402	0,245
2,502	0,236
2,602	0,227
2,702	0,219
2,802	0,211
2,902	0,204
3,002	0,198
3,102	0,192
3,202	0,186
3,302	0,18
3,402	0,175
3,502	0,17
3,602	0,166
3,702	0,161
3,802	0,157
4	0,153

DATA SEBELUM DIOLAH

T(detik)	S_a (g)
0	0,245
T_0	0,612
T_s	0,612
T_s+0	0,557
$T_s+0.1$	0,511
$T_s+0.2$	0,471
$T_s+0.3$	0,438
$T_s+0.4$	0,409
$T_s+0.5$	0,383
$T_s+0.6$	0,361
$T_s+0.7$	0,341
$T_s+0.8$	0,323
$T_s+0.9$	0,307
T_s+1	0,292
$T_s+1.1$	0,279
$T_s+1.2$	0,267
$T_s+1.3$	0,255
$T_s+1.4$	0,245
$T_s+1.5$	0,236
$T_s+1.6$	0,227
$T_s+1.7$	0,219
$T_s+1.8$	0,211
$T_s+1.9$	0,204
T_s+2	0,198
$T_s+2.1$	0,192
$T_s+2.2$	0,186
$T_s+2.3$	0,18
$T_s+2.4$	0,175
$T_s+2.5$	0,17
$T_s+2.6$	0,166
$T_s+2.7$	0,161
$T_s+2.8$	0,157
4	0,153

DATA SETELAH DIOLAH

Setelah mengolah data pada tabel diatas, maka akan didapatkan grafik spektral percepatan seperti Gambar 4.32.



Gambar 4.32. Grafik Spektral Percepatan

4.5.3. Analisis pada SAP2000

Tahap selanjutnya yaitu analisis pada SAP2000 yang dilakukan dengan menginput data-data yang akan digunakan. Tahapan pada analisis SAP2000 akan dijabarkan sebagai berikut:

1. Data-data yang digunakan

Kategori resiko = II

Faktor Keutamaan Gempa, I_e = 1

S_s = 0,869

S_1 = 0,359

Kelas situs = SE (tanah lunak)

S_{DS} = 0,612

S_{D1} = 0,614

F_a = 1,057

F_v = 2,565

Kategori desain seismik = D

R = 8

C_d = 5,5

Ω_0 = 3

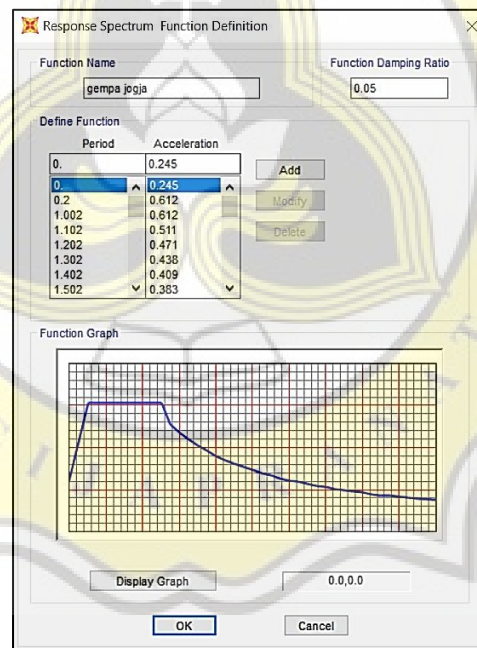
$$C_{t,x} = 0,0466 ; 0,9$$

$$\text{Skala faktor} = 1266,250$$

2. Perencanaan Pada SAP2000

a. Input data hasil olahan respon spektrum dari excel

Berdasarkan pengolahan data dengan bantuan program Microsoft excel, selanjutnya data tersebut dipindahkan ke *note pad* untuk disalin kedalam SAP2000 agar tipe *file* menjadi teks dokumen. *File* tersebut kemudian dimasukkan kedalam SAP2000, data tersebut berupa data *Period* dan *Acceleration*. Dalam menginput pada SAP2000 dilakukan dengan tahapan *define > function > Response Spectrum > Pilih tipe function menjadi from file > Add new function > browse > masukkan file* teks dokumen yang sudah disiapkan > kemudian akan didapatkan *output* seperti Gambar 4.33.

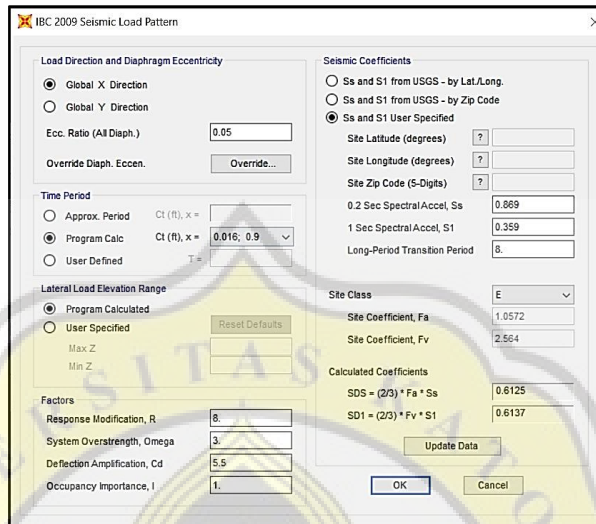


Gambar 4.33. Input Data Respon Spektrum Dari Excel

b. Membuat *Load Pattern*

Pada tahap ini *load pattern* yang dibuat untuk beban gempa dibagi menjadi 2 jenis, yaitu gempa arah X dan gempa arah Y. Berdasarkan data-data yang telah diperoleh dari perhitungan respon spektrum pada tahap sebelumnya, selanjutnya hasil-hasil tersebut akan di input pada SAP2000 untuk mengisi

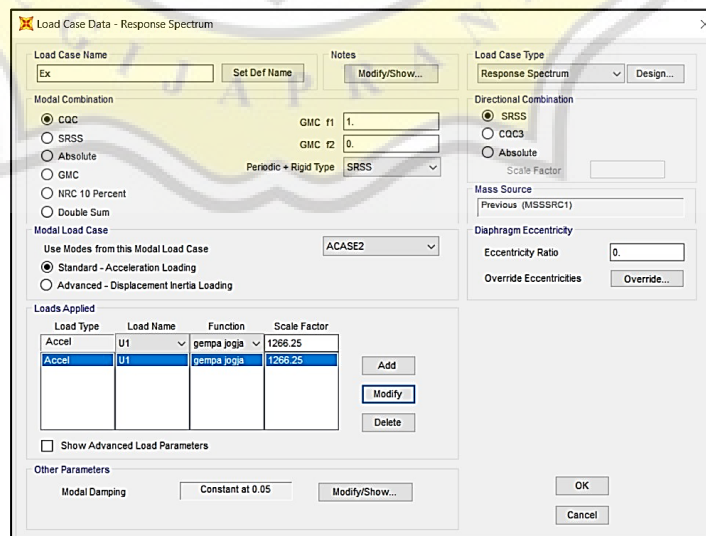
beberapa data pada *seismic load pattern* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34. Input *Seismic Load Pattern* Pada SAP2000

c. Membuat *Load Cases*

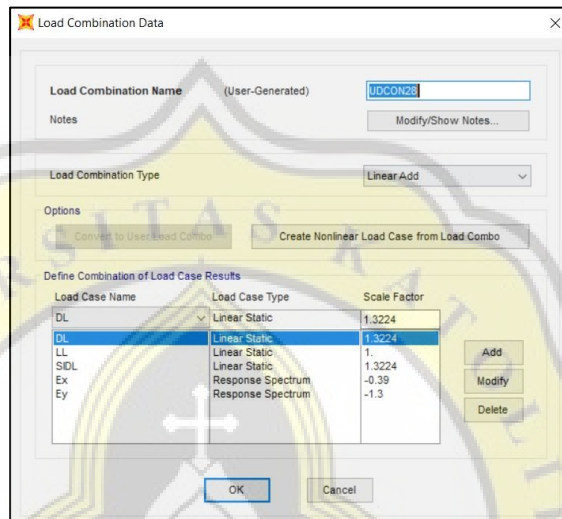
Load cases ini dibuat untuk mengisi *load combination* pada tahap selanjutnya. Pada *load cases* ini juga dibagi menjadi 2 jenis, yaitu arah X dan arah Y. Kemudian pada tabel *load cases* akan dimasukkan nilai skala faktor yang sudah didapatkan pada tahap sebelumnya. Gambar tersebut ditampilkan pada Gambar 4.35.



Gambar 4.35. Input *Load cases* Pada SAP2000

d. Membuat *Load Combination*

Load combination pada tahapan ini dilakukan penambahan beberapa kombinasi baru yang berkaitan dengan gempa. Selanjutnya dimasukkan pada tabel *load combination*. Sebagai contoh, pada Gambar 4.36 diperlihatkan kombinasi 28 yang digunakan.



Gambar 4.36. Input *Load Combination* Pada SAP2000

4.6. Analisis Struktur dengan Metode *Time History*

Analisis struktur dengan metode *time history* ini merupakan cara analisis yang bertujuan untuk menentukan riwayat waktu dalam respon struktur bangunan terhadap gerakan tanah akibat terjadinya gempa. Pada analisis ini menggunakan bantuan data asli gempa yaitu data gempa Kobe. Grafik gempa ini akan ditampilkan dari rekam *Accelerograms*. Langkah-langkah pada tahapan analisis struktur metode *time history* ini akan dijabarkan pada subbab dibawah ini.

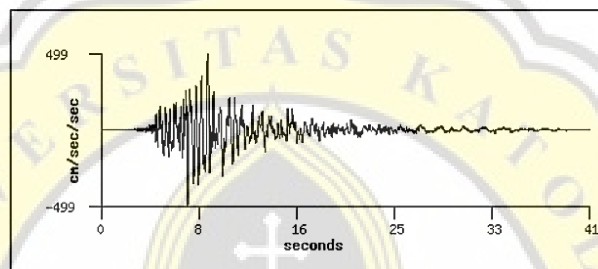
4.6.1. Pengambilan Data dari *Website Strongmotion.org*

Untuk pengambilan data ini dilakukan dengan bantuan *website strongmotion.org*. selanjutnya langsung saja mencari data yang diperlukan, untuk penelitian kali ini digunakan data rekam gempa dari Gempa Kobe yang terjadi pada tahun 1995. Gempa ini memiliki magnitudo sebesar 6,9. Dari *website* tersebut nantinya akan didapatkan data berupa angka-angka data gempa seperti Gambar 4.37. Pada Gambar 4.38 diperlihatkan juga grafik yang didapatkan berdasarkan data gempa.

```

PEER STRONG MOTION DATABASE RECORD. PROCESSING BY PACIFIC
ENGINEERING.
KOBE 01/16/95 2046, NISHI-AKASHI, 000 (CUE)
ACCELERATION TIME HISTORY IN UNITS OF G. FILTER POINTS: HP=0.1 Hz
LP=23.0 Hz
NPTS= 4096, DT=.01000 SEC
-.7551815E-06 -.7062711E-06 -.6368038E-06 -.6153189E-06 -.2
567437E-06
-.9272703E-06 -.2034345E-05 -.1950568E-05 -.2659715E-05 -.2
795244E-05
.1867147E-05 .3983052E-05 -.2169462E-05 -.3239883E-05 .2
568453E-05
-.1597141E-05 -.8413037E-05 -.9388511E-05 -.1499483E-04 -.1
737466E-04
-.9257892E-05 -.8999556E-05 -.7078740E-05 .1597667E-05 .3
723424E-05
-.1562362E-04 -.3245392E-04 -.3834080E-04 -.3389594E-04 -.3
587096E-04
-.3715308E-04 -.4672348E-04 -.5963679E-04 -.5726622E-04 .1
719306E-04
.1188085E-03 .1019762E-03 .9731011E-05 -.2089804E-06 .8
528821E-04
    
```

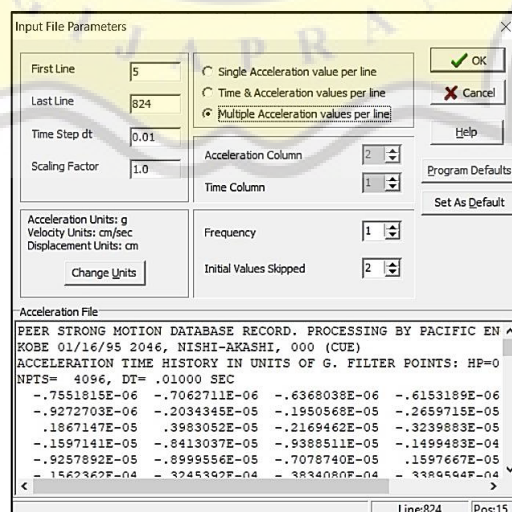
Gambar 4.37. Data Yang Didapatkan Dari Website Strongmotion



Gambar 4.38. Grafik Yang Didapatkan Dari Website Strongmotion

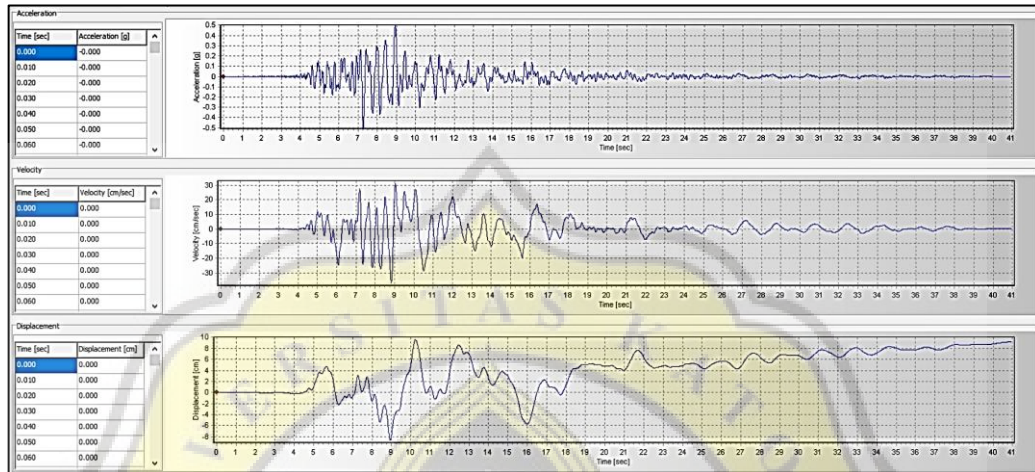
4.6.2. Pengolahan Data pada Seismosignal

Setelah mengambil data dari *strongmotion*, selanjutnya data-data tersebut diolah menggunakan bantuan aplikasi *Seismosignal*. Pada pengolahan data ini, data-data tersebut terlebih dahulu dipindahkan kedalam *notepad* agar diolah di dalam aplikasi *seismosignal* agar tipe *file* menjadi teks dokumen, setelah itu data tersebut langsung saja diinput kedalam aplikasi *seismosignal* seperti pada Gambar 4.39.



Gambar 4.39. Input Data Pada Seismosignal

Setelah memasukkan data-data parameter maka akan didapatkan grafik akselerogram. Grafik ini terdiri dari grafik *Acceleration*, *Velocity* dan *displacement*. Grafik ini diperlihatkan pada Gambar 4.40.



Gambar 4.40. Grafik *Accelerogram* Yang Dihasilkan Dari *Seismosignal*

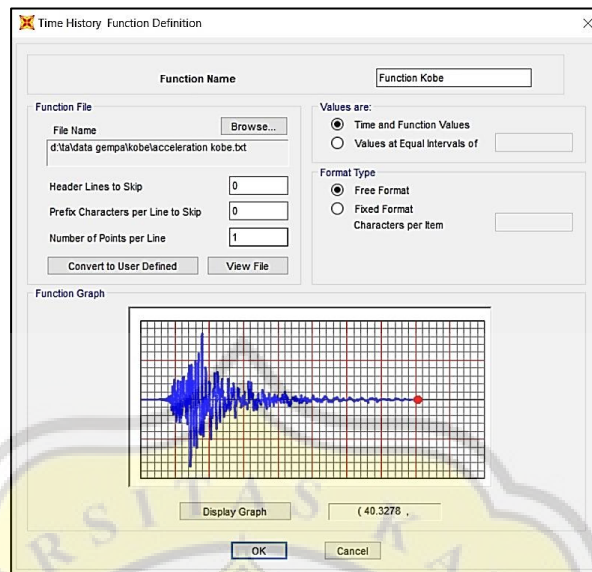
Setelah itu, pada tabel *Acceleration*, nilai *time* dan *acceleration* diambil dan disalin kedalam *notepad* agar data-data tersebut berbentuk teks dokumen. Setelah itu data akan dimasukkan kedalam SAP2000 untuk dilakukan analisis pada SAP2000.

4.6.3. Analisis pada SAP2000

Proses analisis pada SAP2000 dilakukan dengan beberapa tahapan dengan memasukkan beberapa data yang diperlukan dan digunakan dalam proses analisis ini. Langkah-langkah tersebut akan dijabarkan sebagai berikut:

1. Input data hasil olahan dari aplikasi *seismosignal*

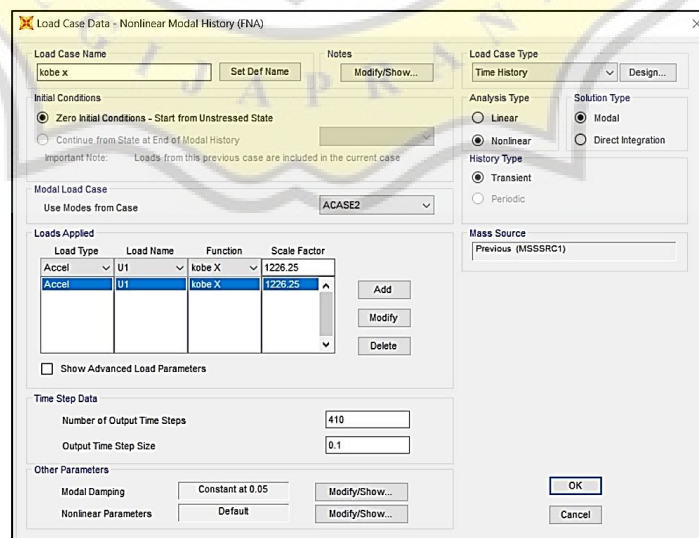
Berdasarkan pengolahan data dengan bantuan aplikasi *seismosignal*, selanjutnya data tersebut dipindahkan ke *note pad* untuk disalin kedalam SAP2000 agar tipe *file* menjadi teks dokumen. *File* tersebut kemudian dimasukkan kedalam SAP2000, data tersebut berupa data rekam gempa. Dalam menginput pada SAP2000 dilakukan dengan tahapan *define > function > Time history > Pilih tipe function menjadi from file>Add new function>browse>masukkan file teks dokumen yang sudah disiapkan>kemudian akan didapatkan output seperti Gambar 4.41.*



Gambar 4.41. Input Data *Function Time History*

2. Membuat *Load Cases*

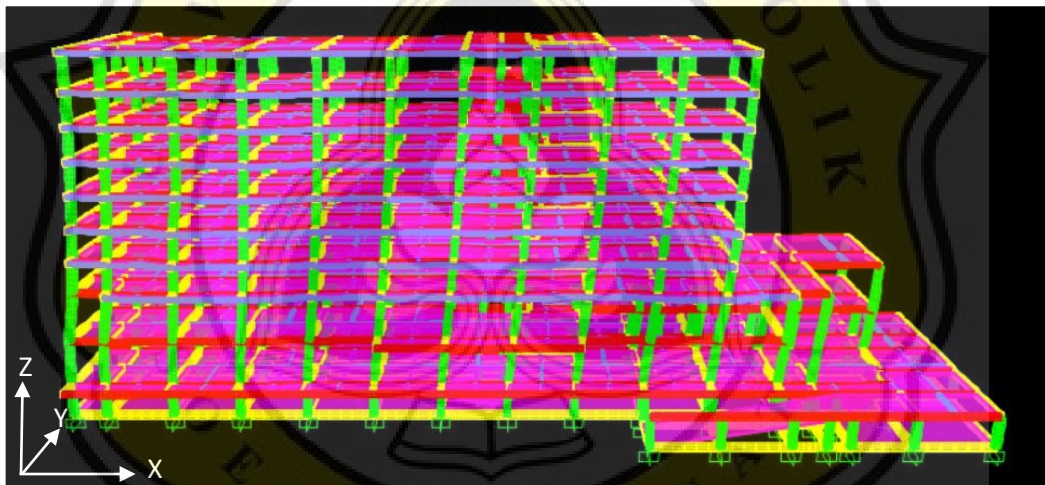
Load cases ini dibuat untuk mengisi *load combination* pada tahap selanjutnya. Pada *load cases* ini juga dibagi menjadi 2 jenis, yaitu arah X dan arah Y. Pada *load cases* ini dilakukan dengan memasukkan skala faktor pada tabel, nilai skala faktor diisi dengan angka 1266,25. Kemudian tipe analisis diubah menjadi non-linear dan *load case type* diubah menjadi *time history* sesuai dengan yang direncanakan. Tahapan pada proses ini diperlihatkan pada Gambar 4.42.



Gambar 4.42. Input *Load Cases* Pada SAP2000

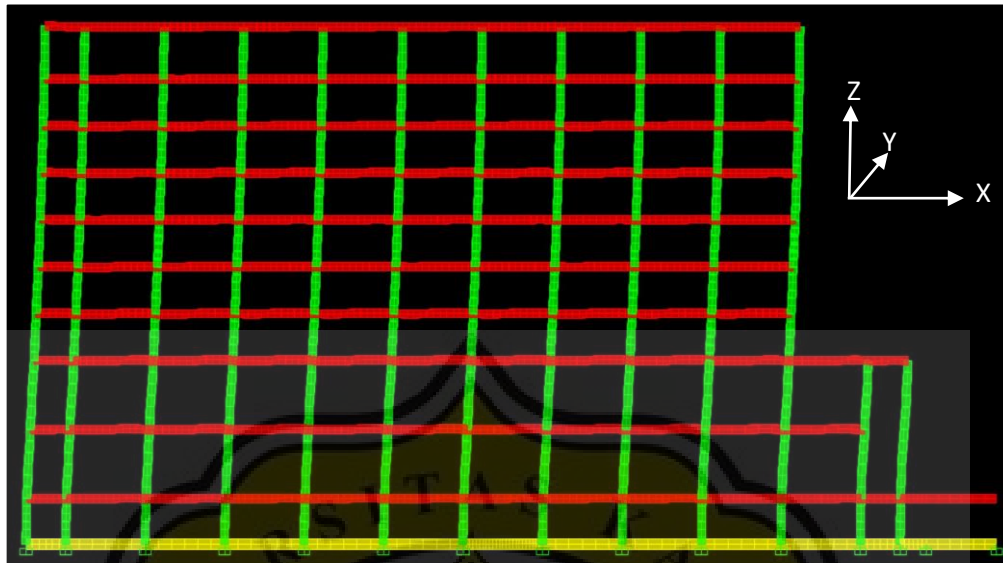
4.7. Analisis Struktur (*Fixed Base*)

Pada tahap analisis struktur ini akan menjelaskan mengenai struktur dalam kondisi *unisolated/fixed based* yang artinya bangunan belum diberi penahan gempa atau *dampers*, namun hanya diberi beban gempa itu sendiri. Beban gempa yang diberi pada struktur ini berdasarkan beban gempa yang sudah dihitung pada tahap sebelumnya. Berdasarkan perhitungan analisis diatas, *study analysis* yang diberikan pada struktur gedung ini menggunakan analisis *time history* atau analisis riwayat waktu dengan memberikan rekam gempa asli pada struktur gedung itu sendiri. Setelah memasukkan beban-beban yang akan bekerja pada struktur ini, selanjutnya akan dilakukan proses *run analysis* yang akan memperlihatkan hasil seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.43.



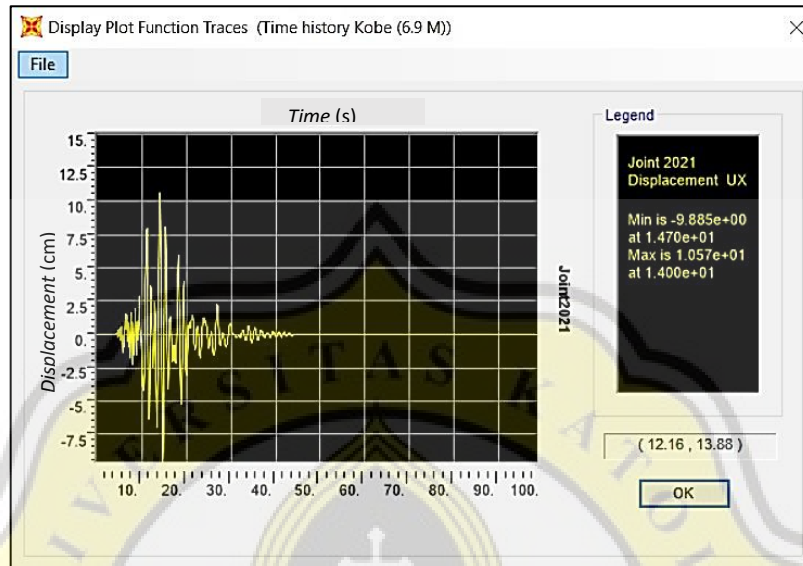
Gambar 4.43. Struktur Gedung Pada Kondisi *Unisolated*

Pada gambar 4.43 dapat dilihat bahwa struktur gedung pada kondisi *unisolated* setelah diberi beban gempa, pada kondisi ini sudah terjadi *displacement* pada arah X dan arah Y. Gambar *displacement* secara detail akan diperlihatkan pada Gambar 4.44 dan 4.45. Gambar tersebut diperlihatkan sebagai contoh dari *displacement* yang terjadi pada struktur gedung dalam kondisi *unisolated*. Gambar yang diambil ini merupakan hasil *run analysis* pada SAP2000 setelah dilakukan analisis menggunakan metode analisis *time history* pada kondisi maksimal. Dari Gambar 4.44 dan 4.45, dapat dilihat terjadi *displacement* pada titik-titik tertentu yang dibuktikan dengan adanya kemiringan pada bagian kolom pada arah X dan arah Y.

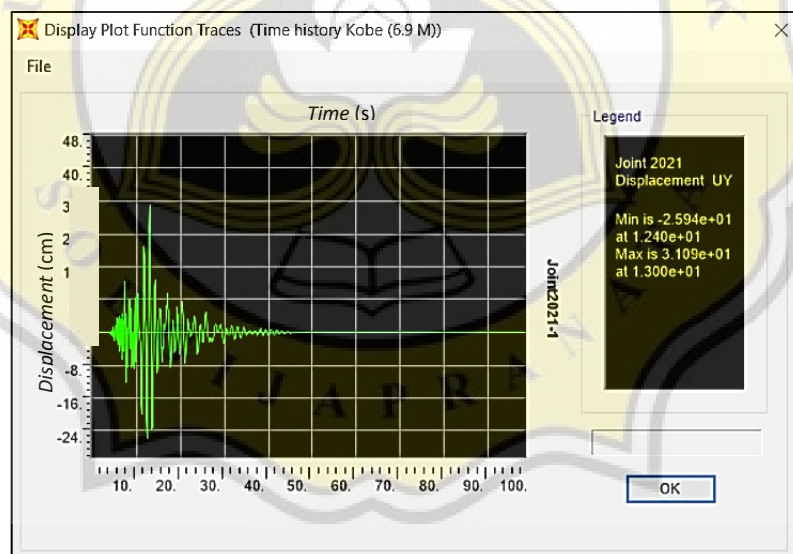
Gambar 4.44. *Displacement* Yang Terjadi Pada Arah XGambar 4.45. *Displacement* Yang Terjadi Pada Arah Y

Untuk melihat hasil *displacement* pada struktur gedung ini ditinjau pada titik 2021 pada arah X dan arah Y sehingga menghasilkan grafik *displacement* yang terjadi. Grafik *displacement* pada arah X dan arah Y diperlihatkan pada Gambar 4.46. Berdasarkan Gambar 4.46 dan Gambar 4.47 dapat dilihat *displacement* pada arah X memiliki nilai minimum sebesar -9,88 cm dan nilai maksimum sebesar 10,57 cm. Pada arah Y memiliki nilai minimum sebesar -25,9 cm dan nilai maksimum sebesar 31,09 cm. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa *displacement* terbesar berada pada arah Y karena reaksi gempa yang terjadi pada arah X lebih kecil dibandingkan arah Y. *Displacement* terbesar berada pada arah Y, yang artinya

gempa hanya mendominasi pada satu arah dan membuat *displacement* pada struktur arah Y bergerak lebih besar.



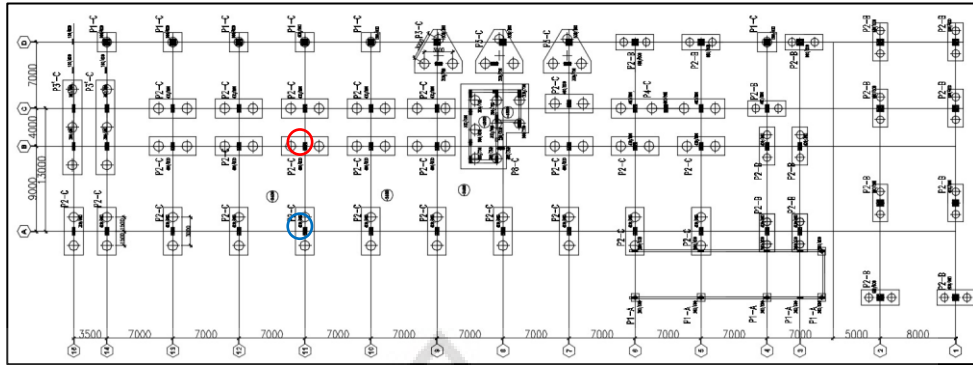
Gambar 4.46. Grafik *Displacement* Pada Arah X



Gambar 4.47. Grafik *Displacement* Pada Arah Y

4.8. Perhitungan Parameter Kekakuan dengan *Damper*

Perhitungan parameter kekakuan dihitung menggunakan gaya momen terbesar yang berada pada kolom eksterior dan kolom interior yang ditunjukkan pada Gambar 4.48.



Gambar 4.48. Layout Pemasangan Base Isolator

Berdasarkan hasil analisa bangunan *fixed base* menggunakan bantuan program SAP2000 maka didapatkan reaksi kolom terbesar terjadi pada:

- Kolom Interior(Merah) = 6883,195 kN (Dari SAP2000)
- Kolom Eksterior(Biru) = 6538,553 Kn (Dari SAP2000)

4.8.1. Perhitungan Desain HDRB Kolom Interior

Perhitungan desain HDRB kolom interior ini dihitung berdasarkan analisis *fixed base* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Perencanaan Sistem Struktur *Base Isolator* secara umum
Struktur pada lokasi terletak pada kelas situs SE (tanah lunak)
2. Kekakuan *Base isolator* rencana
Berdasarkan analisis *fixed base* pada tahap sebelumnya, maka diperoleh periode alami struktur sebesar $T_1 = 1,386$ detik dan periode rencana T_D untuk desain HDRB adalah $T_D = 3 \times T_1 = 3 \times 1,386 = 4,158$
3. Asumsi spesifikasi awal material *rubber*
 - a. Modulus shear (G) = 0,62 MPa
 - b. Ketebalan *rubber* (tr) = 200 mm
 - c. Reaksi (m) = 6883,95 kN = 6883195 N (Dari SAP2000)
 - d. Nilai Kekakuan

$$K_H^1 = \frac{m \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)}{Pj.bentang} = \frac{6883195 \times \left(\frac{2 \times 3,14}{4,158}\right)}{7000} = 1485,14 \text{ N/mm}$$

- e. Nilai luasan *rubber*

$$A = \frac{K_h \times Tr}{Gt} = \frac{1485,14 \times 200}{0,62} = 479077,2 \text{ mm}^2$$

Sehingga diperoleh nilai diameter *rubber*:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 479077,2}{3,14}} = 780,85 \text{ mm}$$

Maka digunakan *base isolator* dengan diameter = 800 mm

4.8.2. Perhitungan Desain HDRB Kolom Eksterior

Perhitungan desain HDRB kolom interior ini dihitung berdasarkan analisis *fixed base* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Perencanaan Sistem Struktur *Base Isolator* secara umum
Struktur pada lokasi terletak pada kelas situs SE (tanah lunak)
2. Kekakuan *Base isolator* rencana
Berdasarkan analisis *fixed base* pada tahap sebelumnya, maka diperoleh periode alami struktur sebesar $T_1 = 1,386$ detik dan periode rencana T_D untuk desain HDRB adalah $T_D = 3 \times T_1 = 3 \times 1,386 = 4,158$
3. Asumsi spesifikasi awal material *rubber*
 - a. Modulus shear (G) = 0,62 MPa
 - b. Ketebalan *rubber* (tr) = 200 mm
 - c. Reaksi (m) = 6538,553 kN = 6538553 N
 - d. Nilai Kekakuan

$$K_H^1 = \frac{m \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)}{Pj.bentang} = \frac{6538553 \times \left(\frac{2 \times 3,14}{4,158}\right)}{7000} = 1485,14 \text{ N/mm}$$

- e. Nilai luasan *rubber*

$$A = \frac{K_h \times Tr}{Gt} = \frac{1485,14 \times 200}{0,62} = 479077,2 \text{ mm}^2$$

Sehingga diperoleh nilai diameter *rubber*:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 479077,2}{3,14}} = 780,85 \text{ mm}$$

Maka digunakan *base isolator* dengan diameter = 800 mm

4.8.3. Kontrol Perpindahan Maksimum *Base Isolator*

Dalam tahapan menghitung kontrol perpindahan maksimum yang terjadi pada *base isolator* ini dilakukan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Menghitung nilai B_D & B_M

Untuk menghitung nilai B_D & B_M diperlukan data dari faktor redaman efektif yang diperlihatkan pada tabel 4.20.

Tabel 4.20. Faktor Redaman Efektif

Redaman efektif, β_M (presentase dari redaman kritis) ^{a,b}	Faktor B_M
≤ 5	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

(Sumber: SNI 1726:2019)

Untuk redaman efektif yang digunakan yaitu 24% maka harus dilakukan interpolasi untuk mendapatkan B

$$B_D \text{ \& } B_M = 1,5 - \left(\frac{(20-24)}{(20-30)} \times (1,5 - 1,7) \right) = 1,58$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka digunakan B_D dan B_M sebesar 1,58.

2. Menghitung Kekakuan aktual

HDRB 800, $A = 0,948 \text{ m}^2$, $G_A = 620000 \text{ N/m}^2$

$$\begin{aligned} K_H \text{ Aktual} &= \frac{G_A \times A}{t_r} = \frac{620000 \times 0,948}{0,2} \\ &= 2938800 \text{ N/m} \\ &= 2,9388 \text{ Mn/m} \end{aligned}$$

3. Menghitung Kekakuan struktur

$$\begin{aligned} K_H \text{ Struktur} &= \text{Jumlah kolom yang akan dipasang Damper} \times K_H \text{ Aktual} \\ &= 85 \times 2,9388 \\ &= 249,798 \text{ Mn/m} \end{aligned}$$

$$\omega^2 = \frac{K_H}{w} = \frac{249798000}{137915884} = 1,81$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \times 3,14}{1,81} = 3,47$$

Didapatkan pada T perhitungan $> T_1$ (Dari SAP2000)

$$3,47 > 1,386 \text{ (OK)}$$

4. Syarat Kinerja Batas Layan

Dalam memenuhi persyaratan kinerja batas layan pada suatu struktur gedung, maka simpangan antar tingkat harus dihitung dan tidak boleh melampaui persamaan berikut:

$$\begin{aligned} D_M &= \frac{0,03}{R} \times h \\ &= \frac{0,03}{8} \times 37500 \\ &= 140 \text{ mm, sehingga } displacement \text{ puncak tidak boleh melebihi nilai } 140 \\ &\text{ mm.} \end{aligned}$$

4.9. Pemodelan Struktur Dengan *Damper*

Pada tahap pemodelan struktur dengan *damper* ini akan dilakukan dengan menambahkan *base isolator* pada bagian pondasi struktur gedung. Untuk jenis *base isolator* yang digunakan yaitu *high damper rubber bearing* (HDRB) dengan spesifikasi yang telah ditentukan berdasarkan perhitungan pada tahap sebelumnya. Langkah-langkah dalam pemodelan struktur *isolated* ini akan dijabarkan pada subbab dibawah ini.

4.9.1. Spesifikasi *Damper*

Berdasarkan perhitungan diameter *base isolator* yang akan digunakan, maka tipe *base isolator* yang digunakan yaitu HDRB dengan spesifikasi sebagai berikut:

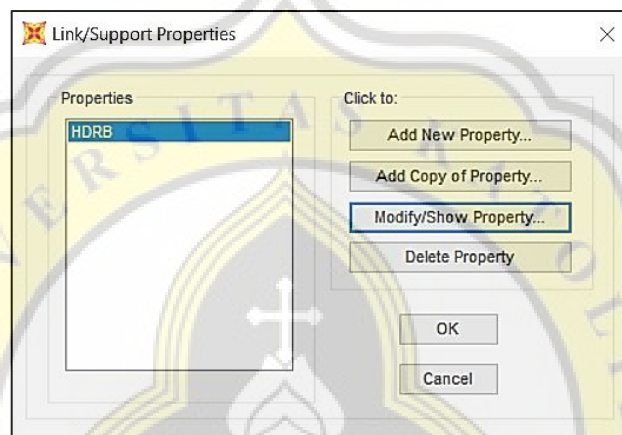
Jenis <i>damper</i>	= HDRB
<i>Shear modulus</i> (N/mm ²)	= 0,62
<i>Equivalent damping ratio</i>	= 0,240
<i>Weight</i>	= 11,9 kN
Massa	= 1,19 kN
<i>First shape factor</i>	= 36,3
<i>Second shape factor</i>	= 4,0
<i>Compressive stiffness</i>	= 3720000 kN/m
<i>Equivalent shear stiffness</i>	= 3720 kN/m
<i>Height</i>	= 0,4189 m
<i>Characteristic strength</i>	= 133 kN

4.9.2. Langkah-Langkah Pemodelan pada SAP2000

Dalam menginput *base isolator* berjenis *high damper rubber bearing* akan dilakukan menggunakan bantuan program SAP2000. Adapun langkah-langkah pemodelan tersebut dilakukan sebagai berikut:

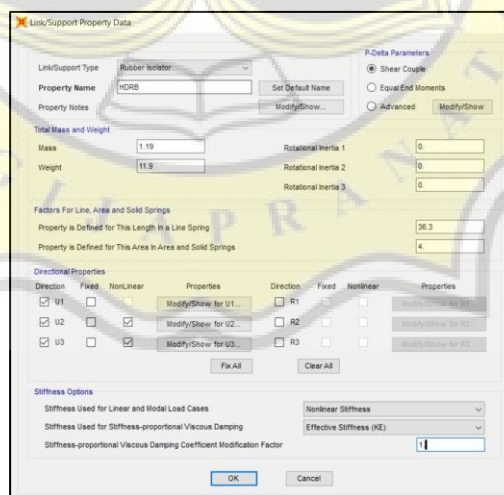
1. Memodelkan tempat peletakan untuk *base isolator*

Langkah ini dilakukan dengan *command* : *Define-Section properties-Link/support properties*.



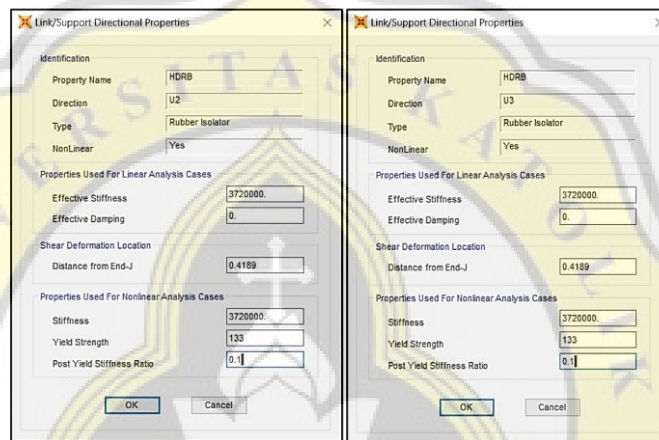
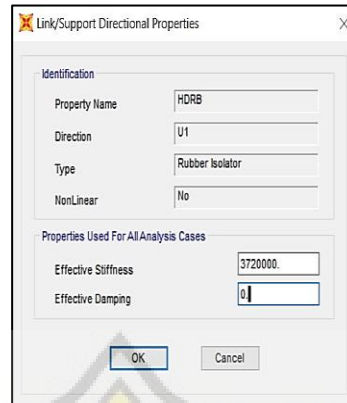
Gambar 4.49. Pemodelan *Seismic Isolation*

2. Input data spesifikasi dari dimensi HDRB yang digunakan



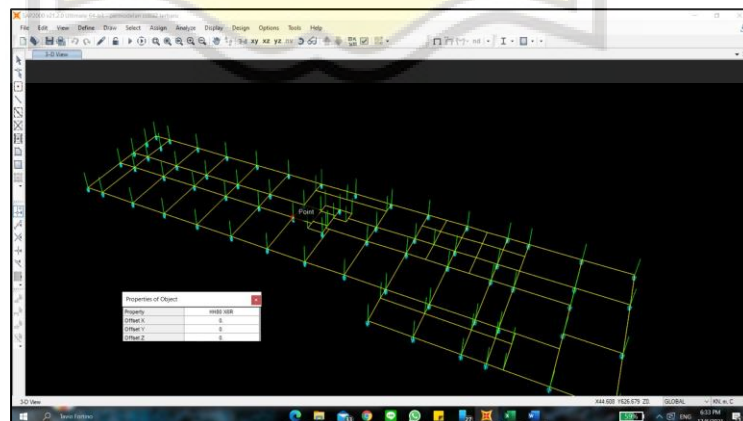
Gambar 4.50. Input Spesifikasi HDRB

3. Selanjutnya yaitu menginput data pada *directional properties* yang meliputi U1 dalam arah vertikal dan U2-U3 dalam arah horizontal pada permukaan *base isolator* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.51.

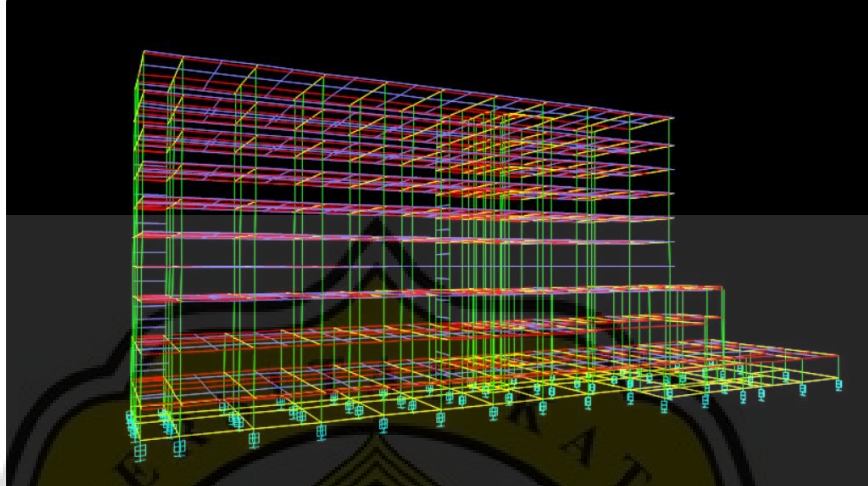
Gambar 4.51. Input *Directional Properties* HDRB

4. Selanjutnya yaitu dilakukan *draw* untuk peletakan HDRB dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Klik menu *draw- Draw 1 joint link-* pilih *link properties* untuk jenis HDRB yang digunakan- kemudian tandai untuk *joint* yang ingin diberikan *base isolator*. Proses *draw* ini diperlihatkan seperti Gambar 4.52.

Gambar 4.52. *Assign Base Isolator* Pada SAP2000

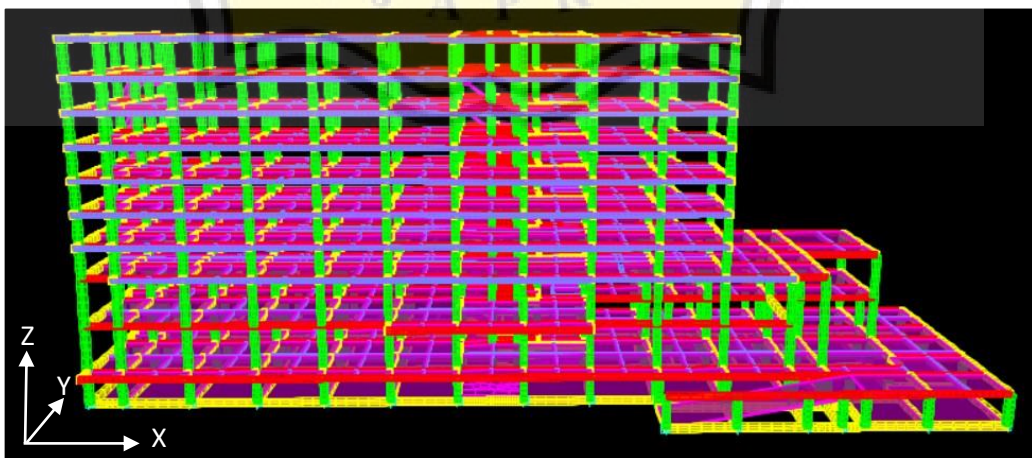
- Setelah itu lakukan *run analyze* pada SAP2000 dengan hasil sebagai berikut yang diperlihatkan pada Gambar 4.53.



Gambar 4.53. Hasil *Run Analyze* dengan Penggunaan *Base Isolator*

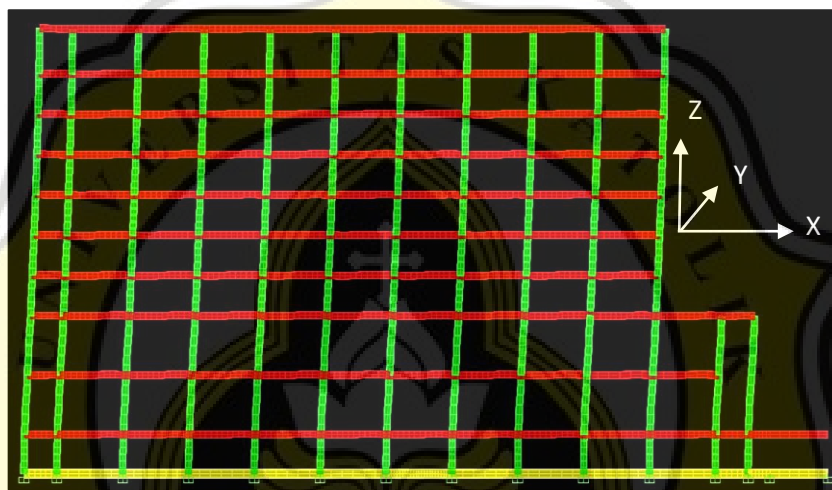
4.10. Analisis Struktur Dengan *Damper*

Pada tahap analisis struktur ini akan menjelaskan mengenai struktur dalam kondisi *isolated* yang artinya bangunan sudah diberi penahan gempa berupa *high damper rubber bearing* pada masing-masing pondasi. Berdasarkan perhitungan analisis diatas, *study analysis* yang diberikan pada struktur gedung ini menggunakan analisis *time history* atau analisis riwayat waktu dengan memberikan rekam gempa asli pada struktur gedung itu sendiri. Pada Gambar 4.54 diperlihatkan hasil *run analysis* struktur gedung ketika sudah diberi *damper*.

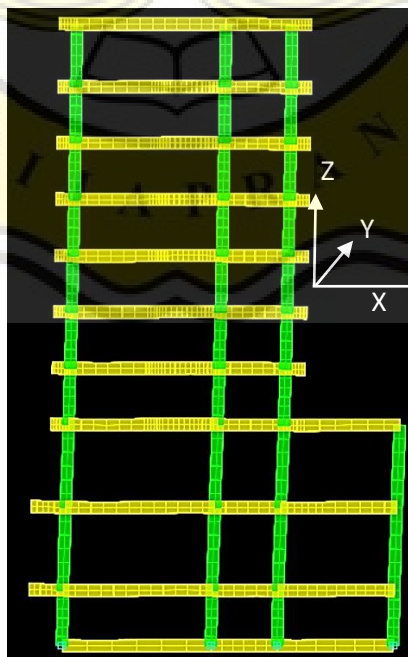


Gambar 4.54. Struktur Gedung Pada Kondisi Menggunakan *Damper*

Pada Gambar 4.54. dapat dilihat bahwa struktur gedung sudah diberi *base isolator* yang berjenis *high damper rubber bearing* pada bagian bawah yaitu pada masing-masing pondasi. Dari Gambar 4.54, pada bagian pondasi sudah diberi *damper* yang digunakan untuk menahan struktur dari terjadinya gempa. Dengan adanya sistem *damper* yang dipasang pada struktur ini diharapkan *displacement* pada saat terjadinya gempa akan berkurang. Pada Gambar 4.55 dan 4.56 diperlihatkan *displacement* yang terjadi pada bagian teratas gedung pada saat sudah diberi *base isolator* dari arah X maupun arah Y

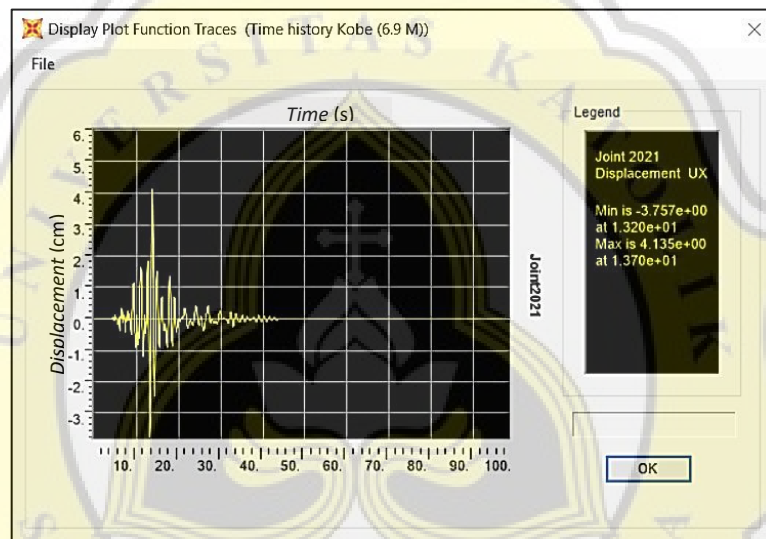


Gambar 4.55. *Displacement* Pada Arah X Setelah Diberi *Damper*

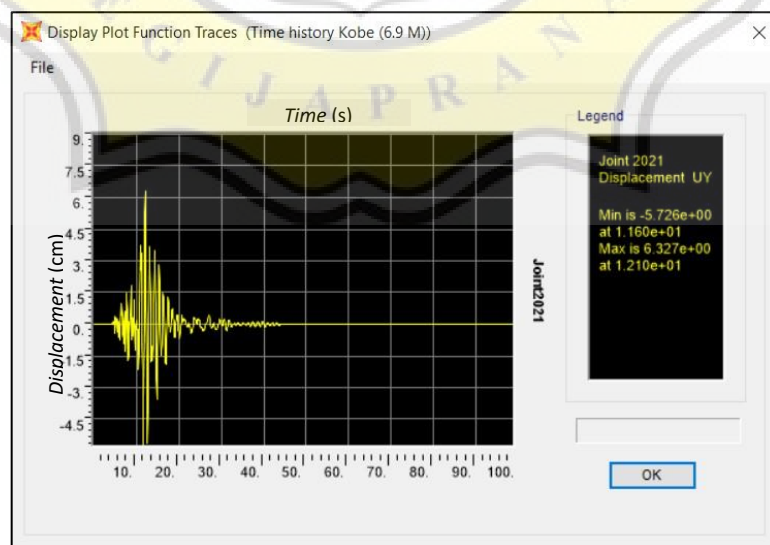


Gambar 4.56. *Displacement* Pada Arah Y Setelah Diberi *Damper*

Untuk melihat hasil *displacement* pada struktur gedung ini ditinjau pada titik 2021 pada arah X dan arah Y sehingga menghasilkan grafik *displacement* yang terjadi. Grafik *displacement* pada arah X dan arah Y diperlihatkan pada Gambar 4.57 dan 4.58. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat perubahan *displacement* setelah struktur diberi *damper*. Kesimpulan ini diambil berdasarkan nilai *displacement* yang berkurang pada arah X dan arah Y. Pada arah X memiliki nilai minimum sebesar -3,757 cm dan nilai maksimum sebesar 4,135 cm. Pada arah Y memiliki nilai minimum sebesar -5,726 cm dan nilai maksimum sebesar 6,327 cm.



Gambar 4.57. Grafik *Displacement* Arah X Setelah Diberi *Damper*



Gambar 4.58. Grafik *Displacement* Arah Y Setelah Diberi *Damper*

4.11. Evaluasi Hasil Analisis Struktur

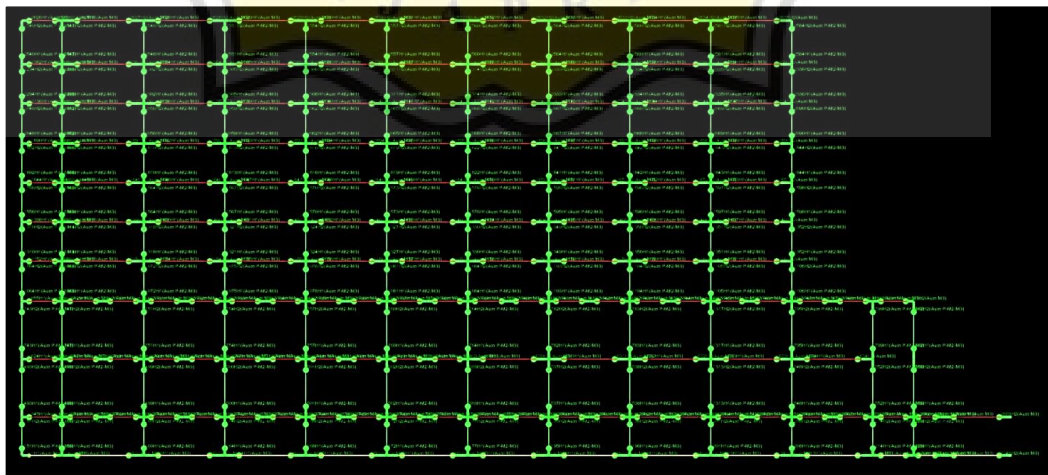
Dalam analisis struktur kondisi *isolated* ini dilakukan menggunakan bantuan program SAP2000 dengan menentukan mekanisme sendi plastis yang terjadi dan level kinerja struktur yang akan dianalisis menggunakan metode spektrum kapasitas (ATC-40).

4.11.1. Mekanisme Sendi Plastis

Pada mekanisme sendi plastis ini struktur akan memunculkan gambar skema distribusi sendi plastis yang terjadi dengan memperlihatkan indikator warna. Sebagai contoh akan diambil gambar dari desain tiga dimensi pada bangunan. Penyajian sendi plastis ini akan dimunculkan pada SAP2000 dengan langkah-langkah yang akan dijabarkan sebagai berikut:

Untuk langkah pertama pada tahapan ini yaitu dengan membuat *load cases* baru yang berisi beban mati dan beban mati tambahan pada *define- select* semua balok yang akan diberi sendi plastis- pilih *assign- frame-hinges-* masukkan *relative distance* sebesar 0,05- *add hinge-hinge table* diubah menjadi *concrete beam-select case/combo* berdasarkan *cases* yang telah dibuat pada tahap sebelumnya-ulang memasukkan *relative distance* dengan cara yang sama namun sebesar 0,95- ulangi langkah diatas dengan *select* semua kolom yang akan diberi sendi plastis.

Dari langkah-langkah yang telah dilakukan diatas, maka hasil yang akan didapatkan diperlihatkan pada Gambar 4.59.



Gambar 4.59. Distribusi Sendi Plastis Pada Kolom Dan Balok

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa semua balok dan kolom sudah terinput sendi plastis yang ditunjukkan pada *joint-joint* berwarna hijau yang membentuk seperti garis horizontal dan garis vertikal. Setelah sendi plastis sudah dipastikan terinput, maka selanjutnya dilakukan proses *run analysis* untuk melihat level kinerja dari struktur tersebut.

4.11.2. Perbandingan *Displacement* Struktur *Fixed base* dan Struktur menggunakan *Damper*

Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan menggunakan bantuan *software* SAP2000 pada tahap sebelumnya terhadap struktur bangunan pada kondisi *fixed base* dan menggunakan *damper* yang telah diberikan beban gempa maka didapatkan efektifitas fungsi dari penggunaan *base isolator* terhadap *displacement* dan reduksiyang terjadi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21. Perbandingan *Displacement* pada Kondisi *Fixed Base* dan Kondisi Menggunakan *Damper*

	<i>Fixed base</i>	<i>Base isolator</i>	Reduksi
	<i>Displacement</i> (cm)	<i>Displacement</i> (cm)	(%)
Gempa UX	10,57	4,135	60,9%
Gempa UY	31,09	6,327	79,6%

Berdasarkan Tabel 4.21 dapat disimpulkan bahwa *displacement* yang dihasilkan dari struktur bangunan *fixed base* dan struktur bangunan yang menggunakan sistem *base isolator* mengalami reduksi yang cukup efektif. Dapat dilihat pada arah X, *displacement* pada struktur dapat direduksi hingga mencapai penurunan 60,9% dan pada arah Y, *displacement* pada struktur dapat direduksi hingga mencapai penurunan 79,6%. Sehingga dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan *high damper rubber bearing* (HDRB) pada struktur ini sangat efektif untuk meredam gaya gempa yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis diatas, maka dapat diketahui bahwa *displacement* pada arah Y lebih besar dikarenakan bentang yang lebih besar dibandingkan pada arah X, sehingga ketika terjadi gempa, *displacement* yang dihasilkan pada arah Y juga lebih besar. Gempa hanya akan mendorong lebih dominan ke satu arah, yaitu arah Y

4.11.3. Analisis Level Kinerja Struktur

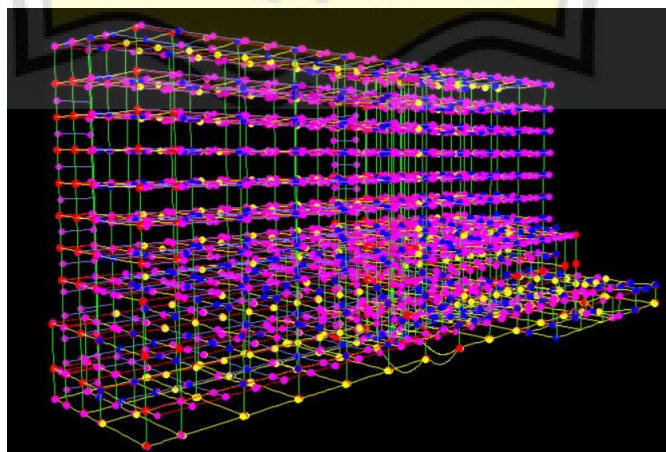
Pada tahap analisis level kinerja struktur ini dilakukan untuk menentukan level kinerja dari struktur itu sendiri. Untuk menentukan level kinerja struktur ini dibutuhkan data *displacement* maksimum yang terjadi. Hasil dari level kinerja ini kemudian akan dibandingkan dengan persyaratan yang ditetapkan oleh ATC-40.

Data-data dari hasil *displacement* pada arah X dan arah Y diperlihatkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22. Hasil *Displacement* Pada Arah X dan Y Dalam Kondisi *Fixed Base*

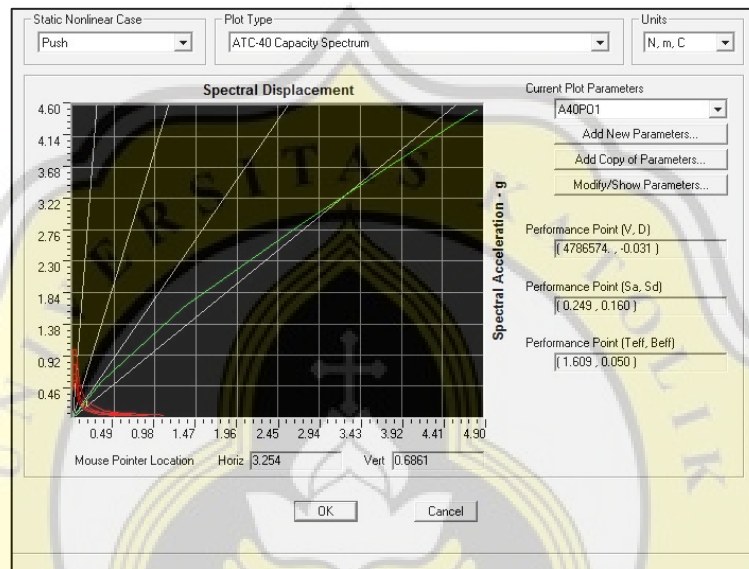
TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
2021	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	10,567396	31,095243	2,015326	0,009023	0,002262	0,005746
2101	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	10,18663	26,128253	2,572852	0,003105	0,00059	0,005791
2041	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	10,178221	26,128005	2,133488	0,006463	0,001531	0,005676
1855	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,991888	26,112715	2,060531	0,011807	0,002329	0,005554
1854	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,991798	26,106793	2,265628	0,012586	0,002332	0,005546
1814	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,935048	26,105462	1,795393	0,011801	0,002521	0,005557
1810	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,934854	26,091965	1,981762	0,01259	0,002525	0,005548
1897	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,918014	26,087645	2,040687	0,004419	0,001601	0,005554
1832	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,913881	26,08744	1,46458	0,00874	0,002721	0,005512
1915	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,909787	26,086674	2,306284	0,007769	0,002362	0,005561
1831	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,909784	26,080441	2,306524	0,007771	0,002365	0,005561
1892	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,90265	26,079846	2,433651	0,003566	0,001064	0,005611
2327	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,900016	26,079779	2,369336	0,004654	0,001186	0,00567
1830	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,892575	25,922304	2,11556	0,009277	0,002596	0,005417
1857	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,879343	25,879737	1,566439	0,009772	0,00225	0,005569
1856	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,878724	25,550601	1,73758	0,010455	0,002333	0,005555
2103	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,81363	25,547568	0,658829	0,002107	0,000401	0,005698
2105	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,800823	25,547345	0,948239	0,004344	0,000991	0,005694
2053	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,797332	25,545588	1,080375	0,006902	0,00122	0,005668
2051	Time history kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	9,787388	25,544255	1,062126	0,005027	0,001293	0,005712

Berdasarkan Tabel 4.23, selanjutnya akan dilihat pada SAP2000 mengenai level kinerja struktur, hasil dari *displacement* terbesar yang terjadi pada *joint* 2021 pada arah X dan Y akan dianalisis menggunakan metode ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.60.

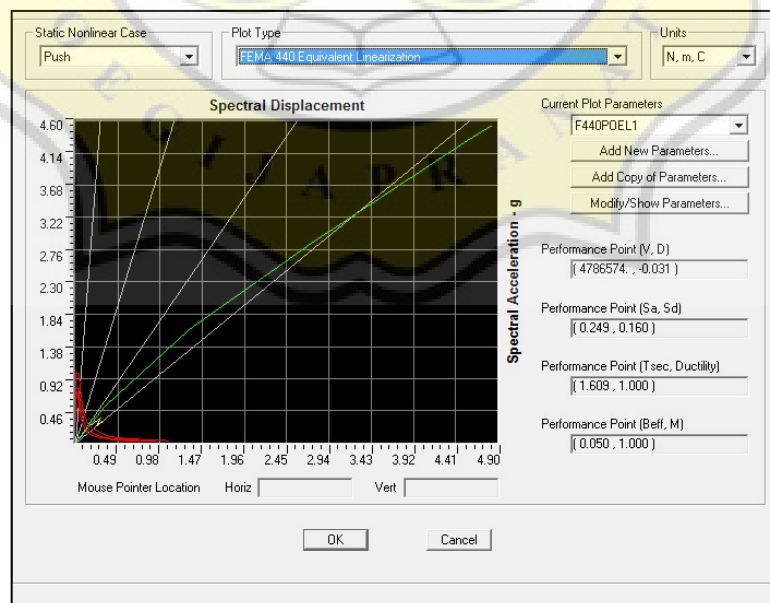


Gambar 4.60. Sendi Plastis Yang Terjadi Pada Kondisi *Fixed Base*

Berdasarkan Gambar 4.60 dapat dilihat kondisi sendi plastis yang terjadi pada struktur yang ditandai dengan indikator berwarna kuning yang menunjukkan level struktur pada kondisi *Collapse Prevention*. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur sudah mencapai batas maksimum untuk mencapai gaya geser. Selanjutnya adalah menentukan level kinerja berdasarkan ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440 berdasarkan grafik *spectral displacement* pada Gambar 4.61 dan Gambar 4.62.



Gambar 4.61. Grafik *Spectral Displacement* Menurut ATC-40 Pada Kondisi *Fixed Base*



Gambar 4.62. Grafik *Spectral Displacement* Menurut FEMA 356 dan FEMA 440 Pada Kondisi *Fixed Base*

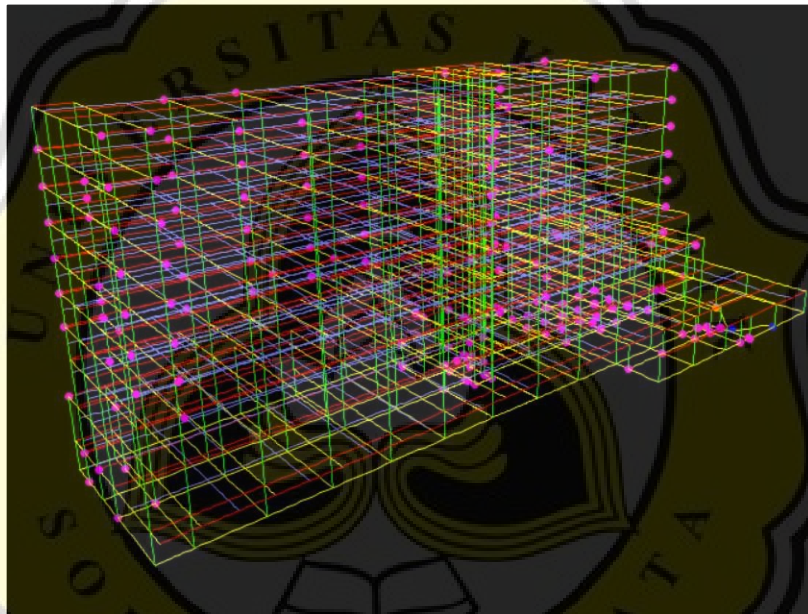
Berdasarkan grafik *spectral displacement* yang diambil dari ATC 40, FEMA 356 dan FEMA 440 dapat dilihat bahwa kuadran berwarna hijau berada pada level kinerja CP(*Collapse Prevention*)) yang artinya gedung tersebut sudah mengalami kerusakan mayor pada struktur dan terindikasi bahwa struktur gedung menunjukkan bahwa gedung akan hancur (FEMA 356,2000). Untuk struktur gedung yang masuk kedalam kriteria CP ini, menurut FEMA sudah tidak dapat digunakan lagi karena mempertimbangkan alasan keselamatan dan pencegahan keruntuhan struktural, untuk struktur yang dapat digunakan harus masuk kedalam kriteria *life safety* dan *immidiate occupancy*. Pada kondisi ini, pasca terjadinya gempa, struktur masih dapat menahan beban struktur dan beban yang bekerja pada struktur akibat beban mati dan beban hidup, namun tidak dapat menahan beban luar seperti beban gempa susulan yang mungkin terjadi. Struktur masih memiliki sisa dari kekuatan sehingga struktur masih berdiri. Hal ini diakibatkan karena struktur sudah mengalami beberapa kerusakan substansial seperti resiko cedera yang diakibatkan dari bahaya jatuhnya puing-puing struktural, sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur gedung ini sudah tidak aman untuk ditempati kembali. Selanjutnya adalah melakukan evaluasi terhadap *displacement* pada struktur yang menggunakan damper. Data-data dari hasil *displacement* pada arah X dan arah Y dalam kondisi menggunakan damper diperlihatkan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23. Hasil *Displacement* pada Arah X dan Y dalam Kondisi menggunakan *damper*

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	cm	cm	cm	Radians	Radians	Radians
2021	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	4,135485	6,327813	0,299021	0,002976	0,000739	0,002112
2022	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	4,135358	6,238518	0,263919	0,002998	0,000739	0,002156
2324	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	4,02083	6,004576	0,506552	0,002197	0,003077	0,002642
2325	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	4,01663	5,956188	0,270719	0,003521	0,001038	0,002013
1855	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,890048	5,38666	0,303077	0,003277	0,000646	0,002083
1854	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,889447	5,055202	0,368411	0,003265	0,000643	0,002032
1810	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,847823	5,05521	0,294771	0,003264	0,000764	0,002008
1814	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,847206	5,386622	0,261636	0,003279	0,000767	0,002064
2326	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,845291	5,40928	0,226049	0,000628	0,003186	0,003996
1619	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,834777	4,492492	0,266076	0,003602	0,001088	0,001944
1686	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,83358	4,558487	0,377405	0,001008	0,000463	0,00221
1621	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,83253	4,583985	0,18767	0,003647	0,001083	0,002013
1704	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,831705	4,513966	0,407464	0,003553	0,001077	0,002096
1620	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,831704	4,513955	0,407513	0,003554	0,001078	0,002096
1681	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,831186	4,500507	0,551216	0,000799	0,000506	0,00217
2319	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,830525	4,479863	0,542834	0,001491	0,000616	0,002206
1856	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,805763	4,055891	0,234987	0,002534	0,000646	0,002062
1857	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,804571	3,386657	0,22754	0,002521	0,000644	0,002086
2103	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,779509	3,630422	0,183276	0,000256	0,000195	0,002593
2105	Time history Kobe (6.9 M)	NonModHist	Max	3,774836	3,536124	0,22997	0,000977	0,000301	0,002492

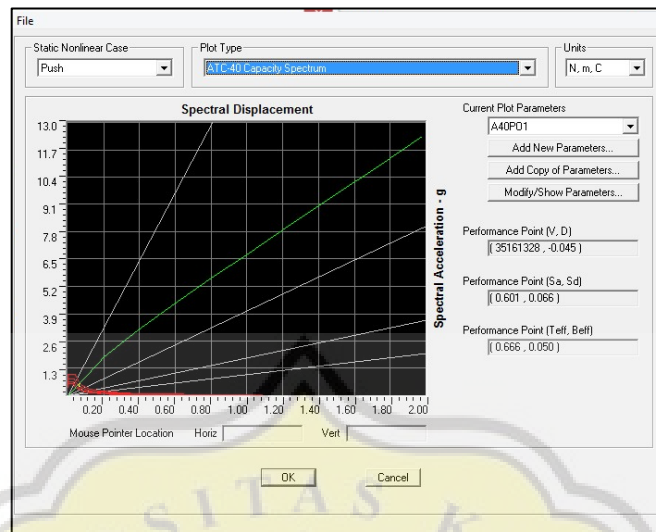
Berdasarkan Tabel 4.23, selanjutnya akan dilihat pada SAP2000 mengenai level kinerja struktur, hasil dari *displacement* terbesar yang terjadi pada *joint 2021* pada arah X dan Y yang dapat pada Tabel U1 dan U2. Hasil tersebut menunjukkan pada arah X senilai 4,135485 dan pada arah Y senilai 6,327813. Nilai dari *displacement* maksimum akan dianalisis menggunakan metode ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.63.

Gambar 4.63 menunjukkan bahwa sendi plastis yang terjadi pada struktur menggunakan *damper* mengurangi jumlah sendi plastis yang bekerja.

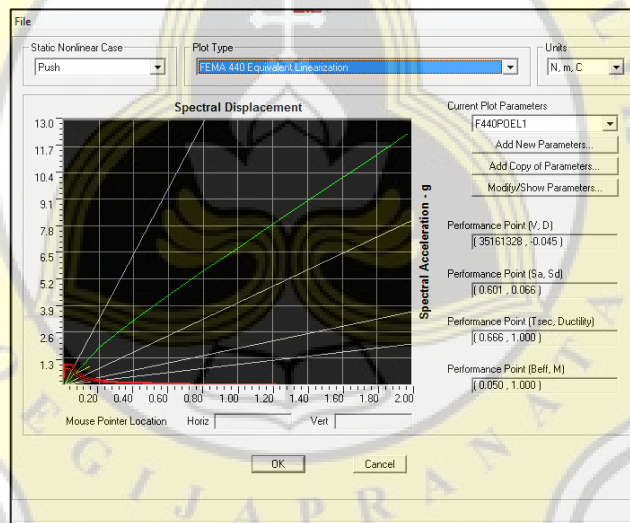


Gambar 4.63. Sendi Plastis Yang Terjadi Pada Kondisi Menggunakan *Damper*

Pada kondisi struktur setelah diberi *damper*, dapat dilihat kondisi struktur yang lebih baik yang ditunjukkan dengan indikator struktur berwarna ungu yang menunjukkan level struktur pada kondisi *Immediate Occupancy*. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur hanya terjadi kerusakan minor yang pada saat perbaikannya tidak mengganggu pengguna struktur itu, kekuatan dan kekakuan yang berada pada strukturnya juga masih sama dengan kondisi sebelum terjadinya gempa. Pada kondisi ini, sistem pemikul gaya pada arah vertikal dan lateral masih dapat menahan gaya gempa yang terjadi. Selanjutnya adalah menentukan level kinerja berdasarkan ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440 berdasarkan grafik *spectral displacement* pada Gambar 4.64 dan 4.65.



Gambar 4.64. Grafik *Spectral Displacement* Menurut ATC-40 Pada Kondisi Menggunakan *Damper*



Gambar 4.65. Grafik *Spectral Displacement* Menurut FEMA 356 Dan FEMA 440 Pada Kondisi Menggunakan *Damper*

Berdasarkan grafik *spectral displacement* yang diambil dari ATC 40, FEMA 356 dan FEMA 440, setelah dipasang *damper* dapat dilihat bahwa kuadran berwarna hijau berada pada level kinerja IO (*Immediate Occupancy*) yang artinya gedung tersebut memasuki fase aman untuk digunakan, namun ada sedikit kerusakan minor dimana hal tersebut tidak mengganggu struktur dan penggunaannya. Untuk kekuatan strukturnya dianggap hampir sama dengan kondisi sebelum terjadinya gempa,

sistem pemikul gaya yang terdapat pada struktur pada arah vertikal dan lateral masih dianggap dapat menahan gempa yang akan terjadi. Pada kondisi ini resiko yang dianggap dapat mengancam nyawa akibat kerusakan struktural ini dianggap semakin rendah. Sehingga secara kesimpulan, struktur gedung masih layak digunakan karena struktur masih dianggap kuat. Pada Tabel 4.27 diperlihatkan kesimpulan dari level kinerja struktur pada kondisi struktur *fixed base* dan struktur menggunakan *damper*.

Tabel 4.27. Level Kinerja Pada Struktur Arah UX dan Arah UY

Arah	<i>Fixed Base</i>	
	ATC-40	FEMA 356 dan 440
Arah UX	CP	CP
Arah UY	CP	CP
ARAH	Menggunakan <i>Damper</i>	
	ATC-40	FEMA 356 dan 440
Arah UX	IO	IO
Arah UY	IO	IO

Berdasarkan kedua hasil yang didapatkan dari struktur *fixed base* dan struktur yang menggunakan *damper*, disimpulkan bahwa dengan adanya *damper* yang dipasang membuat perubahan pada struktur ketika terjadinya gempa, dengan adanya *damper* dianggap sangat efektif terhadap level kinerja yang terjadi, seperti yang dapat dilihat pada struktur *fixed base*, level kinerja yang didapatkan berada pada level kinerja *Collapse Prevention* (CP), sedangkan setelah dipasang *damper*, level kinerja berubah menjadi lebih baik yang ditunjukkan dengan berubahnya level kinerja menjadi level *Immidiata Occupancy* (IO). Hal ini membuktikan bahwa pemasangan *damper* dianggap efektif.