

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Data perencanaan**

Data perencanaan untuk struktur gedung ini adalah sebagai berikut :

- Tipe bangunan : Bangunan Kampus
- Letak bangunan : Daerah Istimewa Yogyakarta
- Lebar bangunan : 40m
- Panjang bangunan : 64m
- Tinggi bangunan : 37,5m
- Mutu Beton :  $f_c' 37,35$  MPa
- Mutu baja : BJT 420B

#### **4.2 Preliminary Desain**

Preliminary desain digunakan untuk merencanakan dimensi komponen sesuai dengan persyaratan dari SNI 2847:2019. Pada tahap awal perancangan struktur gedung 9 lantai ini, dimensi balok induk ditentukan berdasarkan kriteria batas lendutan sesuai dengan standar yang berlaku. Penentuan tinggi minimal balok ( $h$ ) merujuk pada ketentuan bentang bebas ( $L$ ) untuk memastikan kekakuan elemen struktur dalam memikul beban gravitasi maupun beban lateral gempa

##### **4.2.1 Preliminary Balok**

###### **1. Preliminary Balok Induk dan Tie Beam**

Untuk perencanaan pada Gedung Bangunan Kampus, balok direncanakan menggunakan baja tulangan  $f_y 420$  MPa dengan mutu beton  $f_c' 37,35$  MPa. a. Balok bentang 8000 mm

- a. Balok B1 bentang 8000 mm

$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{L}{12} \\ &= \frac{8000}{12} \\ &= 666,67 \text{ mm} \\ h_{pakai} &= 700 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Penentuan Lebar Balok ( $b$ )

Dalam perancangan ini, lebar balok ( $b$ ) ditentukan tidak hanya berdasarkan rasio konvensional, namun juga mempertimbangkan kebutuhan kekakuan torsi dan kemudahan penempatan tulangan pada daerah hubungan balok-kolom (*joint*) untuk gedung bertingkat tinggi. Mengingat gedung ini memiliki 9 lantai yang memerlukan kekakuan lateral yang signifikan, maka diambil rasio  $b/h$  sebesar 0,85.

$$\begin{aligned} b &= 0,85 \times h \\ b &= 0,85 \times h_{pakai} \\ &= 0,85 \times 700 \\ &= 595 \text{ mm} \\ b_{pakai} &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan demikian, dimensi balok induk yang digunakan dalam pemodelan SAP2000 adalah 600 x 700 mm. Dimensi ini telah memenuhi syarat teknis untuk menjamin performa struktur yang kaku terhadap gaya gempa..

- b. Balok B2 bentang 8000 mm

$$h_{min} = \frac{L}{12}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{8000}{12} \\
 &= 666,67 \text{ mm} \\
 h_{pakai} &= 700 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Balok B2 dengan dimensi 500x700 mm digunakan pada bentang 8 meter. Penentuan lebar  $b = 500 \text{ mm}$  (rasio 0,71 terhadap  $h$ ) dilakukan untuk memberikan kapasitas geser yang lebih besar dibandingkan balok standar, namun tetap menjaga efisiensi berat sendiri struktur jika dibandingkan dengan tipe B1."

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{1}{0,71} \times h_{pakai} \\
 &= \frac{1}{0,71} \times 700 \\
 &= 497 \text{ mm} \\
 b_{pakai} &= 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dimensi balok hasil perhitungan awal berdasarkan syarat lendutan minimum adalah (b/h) 350 x 700 mm. Setelah dilakukan analisa struktur menggunakan program **SAP2000** untuk menahan beban gempa dan meningkatkan kekakuan lateral pada gedung 9 lantai, maka didapatkan dimensi aktual yang lebih optimal. Maka, dimensi balok yang digunakan adalah (b/h) 500 x 700 mm

c. Balok B3

Penentuan dimensi balok B3 dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi berat struktur pada lantai atap serta batas lendutan izin. Berikut adalah tahapan perhitungannya:

Perhitungan Tinggi Balok ( $h$ ) Berdasarkan estimasi awal menggunakan bentang kritis  $L = 8000$  mm:

$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{L}{12} \\ &= \frac{8000}{12} \\ &= 666,67 \text{ mm} \\ h_{pakai} &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk mengoptimalkan beban mati (*self-weight*) pada level tertinggi gedung, maka digunakan tinggi aktual:

$$h_{pakai} = 600 \text{ mm}$$

Perhitungan Lebar Balok ( $b$ ) Menggunakan rasio  $b/h$  sebesar 0,75 untuk menyesuaikan kebutuhan kekakuan lateral pada area pinggir gedung

$$\begin{aligned} b &= \frac{1}{0,75} \times h_{pakai} \\ &= \frac{1}{0,75} \times 600 \\ &= 450 \text{ mm} \\ b_{pakai} &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dimensi balok hasil perhitungan awal adalah (b/h) 300 x 600 mm. Setelah dilakukan simulasi beban gempa dan gravitasi menggunakan program SAP2000, didapatkan dimensi aktual yang lebih stabil untuk menahan kapasitas momen dan geser pada bentang 8 meter di lantai atap. Maka, dimensi yang digunakan adalah (b/h) 450 x 600 mm.

d. Penentuan dimensi Balok Anak (BA1)

Balok anak berfungsi untuk membagi beban dari pelat lantai ke balok induk sehingga dapat mereduksi momen pada pelat. Penentuan dimensi awal balok anak menggunakan pendekatan rasio yang lebih ekonomis dibandingkan balok induk

Perhitungan Tinggi Balok ( $h$ ) Untuk balok anak, tinggi minimum dapat menggunakan rasio  $h \approx \frac{1}{15} \times L$  . Dengan bentang  $L = 8000$  mm:

$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{L}{15} \\ &= \frac{8000}{15} \\ &= 533,33 \text{ mm} \\ h_{pakai} &= 650 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk meningkatkan kekakuan struktur terhadap puntir serta memberikan faktor keamanan yang lebih tinggi, maka ditetapkan tinggi aktual sebesar:

$$h_{pakai} = 650 \text{ mm}$$

Perhitungan Lebar Balok ( $b$ ) Penentuan lebar balok anak menggunakan rasio terhadap tinggi ( $h$ ) sebesar 0,54

$$\begin{aligned} b &= \frac{1}{0,54} \times h_{pakai} \\ &= \frac{1}{0,54} \times 650 \\ &= 351 \text{ mm} \\ b_{pakai} &= 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dimensi awal balok anak berdasarkan perhitungan teoritis adalah ( $b/h$ ) 325 x 650 mm. Namun, setelah dilakukan pemodelan dan analisis beban menggunakan program SAP2000, dimensi tersebut disesuaikan menjadi 350 x 650 mm guna memastikan kapasitas geser penampang telah memenuhi syarat teknis dalam memikul beban gravitasi yang disalurkan dari pelat lantai. Maka, dimensi aktual yang diaplikasikan dalam pemodelan struktur adalah ( $b/h$ ) 350 x 650 mm.

e. Penentuan dimensi Balok Anak (BA2)

Balok anak tipe 2 (BA 2) diaplikasikan pada area lantai atap dengan bentang 8 meter. Penggunaan balok anak pada area ini bertujuan untuk membagi luasan pelat atap agar ketebalan pelat tetap efisien dan mampu memikul beban genangan air hujan secara optimal.

Perhitungan Tinggi Balok ( $h$ )

Berdasarkan kriteria estimasi tinggi balok anak  $h \approx \frac{1}{15} \times L$  untuk bentang  $L = 8000$  mm:

$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{L}{15} \\ &= \frac{8000}{15} \\ &= 533,33 \text{ mm} \\ h_{pakai} &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk menjamin kekakuan struktur dalam memikul beban mati tambahan dan beban air hujan yang terakumulasi pada pelat atap, maka ditetapkan:

$$h_{pakai} = 600 \text{ mm}$$

Perhitungan Lebar Balok ( $b$ )

Penentuan lebar balok menggunakan rasio 0,58 terhadap tinggi ( $h$ ) untuk mendapatkan penampang yang stabil:

$$\begin{aligned} b &= \frac{1}{0,54} \times h_{pakai} \\ &= \frac{1}{0,54} \times 600 \\ &= 348 \text{ mm} \\ b_{pakai} &= 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rasio ( $b/h$ ) sebesar 0,58 pada BA 2 dipilih dengan pertimbangan teknis sebagai berikut:

- *Ketahanan Terhadap Beban Air Hujan:* Dimensi 350 x 600 mm memberikan kekakuan yang cukup untuk mencegah lendutan berlebih yang dapat menyebabkan efek *ponding* (genangan air) pada slab atap.
- *Kontrol Lendutan Izin:* Tinggi 600 mm sudah melebihi syarat minimum **SNI 2847:2019** ( $L / 18,5 = 432 \text{ mm}$ ). Dengan demikian, balok ini sangat aman secara servisibilitas untuk bentang 8 meter.
- *Efisiensi Berat Struktur:* Penggunaan dimensi yang lebih ramping dibandingkan balok induk lantai tipikal bertujuan untuk mengurangi beban massa bangunan pada level teratas, sehingga dapat mereduksi gaya gempa desain pada struktur bawah.

Berdasarkan hasil analisis pada program SAP2000, dimensi aktual ( $b/h$ ) 350 x 600 mm dinyatakan memenuhi syarat kekuatan dan lendutan untuk memikul beban kombinasi pada lantai atap.

#### f. Penentuan dimensi Balok tie beam

Penentuan dimensi *Tie Beam* didasarkan pada besarnya beban aksial kolom dan panjang bentang untuk meminimalisir penurunan fondasi yang tidak seragam (*differential settlement*). Sesuai dengan standar praktik rekayasa struktur, dimensi *Tie Beam* ditentukan sebagai berikut:

Tinggi Tie Beam ( $h$ ) Tinggi balok ikat ditentukan berdasarkan rasio terhadap panjang bentang ( $L = 8000$  mm) untuk menjamin kekakuan arah lateral:

$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{1}{12} \times L \\ &= \frac{1}{12} \times 8000 \\ &= 666,67 \text{ mm} \\ h_{pakai} &= 700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lebar Tie Beam ( $b$ ):

Lebar balok ikat ditentukan dengan mempertimbangkan lebar kolom terbesar agar penyaluran gaya aksial berlangsung optimal, dengan batas minimum:

$$\begin{aligned} b &= \frac{1}{2} \times h_{pakai} \\ &= \frac{1}{2} \times 700 \\ &= 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dalam perancangan ini, lebar yang digunakan adalah 500 mm. Pemilihan lebar  $b = 500$  mm (rasio 0,71 terhadap  $h$ ) didasarkan pada kebutuhan kekakuan torsi dan kapasitas geser yang lebih tinggi pada level dasar bangunan.

Mencari Rasio :

$$Rasio = \frac{b}{h} \times \frac{500}{700} = 0,714$$

Penentuan lebar *tie beam*  $b$  menggunakan rasio sebesar 0,71 terhadap tinggi balok ( $h$ ) guna meningkatkan kekakuan lateral struktur bawah. Dan menghitung Lebar ( $b$ ) jika diketahui rasionya: Jika menetapkan rasio kekakuan balok adalah 0,71 dari tingginya, maka:

$$\begin{aligned}
 b_{pakai} &= 0,71 \times h_{pakai} \\
 &= 0,71 \times 700 \\
 &= 497 \text{ mm} \\
 b_{pakai} &= 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil 497 mm ini kemudian dibulatkan ke atas menjadi angka praktis lapangan yaitu 500 mm.

Berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan balok

Tipe Balok	PanjangBentang(mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)
B1	8000	700	600
B2	8000	700	500
B3	8000	600	450
BA 1	8000	650	350
BA 2	8000	600	350
TB	8000	700	500

#### 4.2.2 Preliminary Kolom

Untuk mencari dimensi kolom dalam perencanaan ini menggunakan kekakuan kolom dengan persamaan sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Preliminary Dimensi Kolom K1

K1 lantai 1-5								
mutu beton (f <sub>c</sub> )	33,2		Mpa	K-400				
jumlah lantai	9		lantai					
Nama	berat jenis	beban	jumlah	b	h	Berat		
	(Kn/m <sup>3</sup> )	(Kn/m <sup>2</sup> )	(n)	(m)	(m)	(kN)		
pelat	24		10		0,2	64	3072	
balok 1	24		10	0,6	0,7	16	1612,8	
kolom	24		9	1	1	5	1080	
keramik	24		9		0,01	64	138,24	
M&E + utilitas		0,25	9			64	144	
plafon + rangka		0,2	10			64	128	
Total Beban Mati								6175,04
1	beban hidup	2,5	9			64	1440	
Kombinasi 1.2D + 1.6L (Pu)								9714048 N
Luasan perlu kolom per satukolom (A)								975306,024 mm <sup>2</sup>
$\sqrt{A}$								987,575832 mm
<b>DIPAKAI LUAS KOLOM (A)</b>								1000 mm <sup>2</sup>
<b>Luasan Kolom</b>					1000	1000	1000000 mm <sup>2</sup>	
<b>OK</b>								

## Asumsi Tulangan

Kolom = 1.000.000 mm<sup>2</sup>

Diameter Tulangan = D29

Luas Tulangan = 660,520 mm<sup>2</sup>

Menggunakan Tulangan = 28 D 29

As = 18.494,56 mm<sup>2</sup>Rasio Tulangan = 0,01849 > 0,01 **OK**

Selimut Beton = 50 mm

Diameter Sengkang = D13 – 150 mm

Cross Tie = D13 – 150 mm

Tabel 4. 6 Preliminary Dimensi Kolom K2

K2 lantai 5-9		33,2 Mpa		K-400				
mutu beton (f'c)		4 lantai						
jumlah lantai								
Nama	berat jenis	beban	jumlah	b	h	Berat		
	(Kn/m <sup>3</sup> )	(Kn/m <sup>2</sup> )	(n)	(m)	(m)	(kN)		
pelat	24		5		0,2	64	1536	
balok 1	24		5	0,6	0,7	16	806,4	
kolom	24		5	1	1	5	600	
keramik	24		4		0,01	64	61,44	
M&E + utilitas		0,25	4			64	64	
plafon + rangka		0,2	5			64	64	
Total Beban Mati							3131,84	
1	beban hidup	2,5	5			64	800	
Kombinasi 1.2D + 1.6L (Pu)							5038208	N
Luasan perlu kolom per satuvkolom (A)							505844,177	mm <sup>2</sup>
$\sqrt{A}$							711,227233	mm
<b>DIPAKAI LUAS KOLOM (A)</b>							800	mm
<b>Luasan Kolom</b>							800	800
<b>OK</b>							640000	mm <sup>2</sup>

## Asumsi Tulangan

Kolom = 640.000 mm<sup>2</sup>

Diameter Tulangan = D29

Luas Tulangan = 660,520 mm<sup>2</sup>

Menggunakan Tulangan = 24 D 29

As = 15852,5 mm<sup>2</sup>Rasio Tulangan = 0,02476 > 0,01 **OK**

Selimut Beton = 50 mm

Diameter Sengkang = D13 – 150 mm

Cross Tie = D13 – 150 mm

Tabel 4. 7 Preliminary Dimensi Kolom K3

K3 lantai 5-9		33,2 Mpa		K-400				
mutu beton (f'c)		4 lantai						
jumlah lantai								
Nama	berat jenis	beban	jumlah	b	h	Berat		
	(Kn/m <sup>3</sup> )	(Kn/m <sup>2</sup> )	(n)	(m)	(m)	(kN)		
pelat	24		5		0,2	32	768	
balok 1	24		5	0,6	0,7	16	806,4	
kolom	24		5	1	1	5	600	
keramik	24		4		0,01	32	30,72	
M&E + utilitas		0,25	4			32	32	
plafon + rangka		0,2	5			32	32	
Total Beban Mati							2269,12	
1	beban hidup	2,5	5			32	400	
Kombinasi 1.2D + 1.6L (Pu)							3362944	N
Luasan perlu kolom per satukolom (A)							337644,98	mm <sup>2</sup>
$\sqrt{A}$							581,072267	mm
<b>DIPAKAI LUAS KOLOM (A)</b>							700	mm
<b>Luasan Kolom</b>					700	700	490000	mm <sup>2</sup>
<b>OK</b>								

## Asumsi Tulangan

Kolom = 490.000 mm<sup>2</sup>

Diameter Tulangan = D25

Luas Tulangan = 490,87 mm<sup>2</sup>

Menggunakan Tulangan = 24 D 25

As = 11780,88 mm<sup>2</sup>Rasio Tulangan = 0,02404 > 0,01 **OK**

Selimut Beton = 50 mm

Diameter Sengkang = D13 – 150 mm

Cross Tie = D13 – 150 mm

**4.2.3 Preliminary Plat Lantai**

Alur perencanaan tebal pelat lantai sebagai berikut :

1. Pelat ukuran 8000 x 8000

$$L_n = 8000 - (2 \times 300) = 7700$$

$$S_n = 8000 - (2 \times 300) = 7700$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{7700}{7700} = 1,00$$

Tebal Rencana = 200 mm

2. Menghitung rasio kekakuan balok B1 600/700 mm

Rencana tebal pelat, hf : 200 mm

bw : 600 mm

h : 700 mm

Ly : 8000 mm

Lx : 8000 mm

hb, (h-hf) : 500 mm

be, (bw + 2hb ≤ bw + 8hf) : 1600 ≤ 2200 mm

be, pakai : 1600 mm

$$k = \frac{1 + \left(\frac{160}{60} - 1\right)\left(\frac{20}{70}\right) \left[4 - 6\left(\frac{20}{70}\right) + 4\left(\frac{20}{70}\right)^2 + \left(\frac{160}{60} - 1\right)\left(\frac{20}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{160}{60} - 1\right)\left(\frac{20}{70}\right)}$$

$$k = 1,765$$

$$I_{balokT} = k \frac{bw \cdot h^3}{12} = 1,765 \frac{60 \cdot 70^3}{12} = 3.026.975 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} b \cdot hf^3 = \frac{1}{12} 800 \cdot 20^3 = 533.333 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{3.026.975}{533.333} = 5,68$$

3. Menghitung rasio kekakuan balok B1 500/700 mm

Rencana tebal pelat, hf : 200 mm

bw : 500 mm

h : 700 mm

Ly : 8000 mm

Lx : 8000 mm

hb, (h-hf) : 500 mm

be, (bw + 2hb ≤ bw + 8hf) : 1500 ≤ 2100 mm

be, pakai : 1500 mm

$$k = \frac{1 + \left(\frac{150}{50} - 1\right)\left(\frac{20}{70}\right) \left[4 - 6\left(\frac{20}{70}\right) + 4\left(\frac{20}{70}\right)^2 + \left(\frac{150}{50} - 1\right)\left(\frac{20}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{150}{50} - 1\right)\left(\frac{20}{70}\right)}$$

$$k = 1,821$$

$$I_{balokT} = k \frac{bw \cdot h^3}{12} = 1,821 \frac{50 \cdot 70^3}{12} = 2.602.343 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 800 \cdot 20^3 = 533.333 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{2.602.343}{533.333} = 4,88$$

4. Menghitung nilai  $\alpha_{fm}$  dari perhitungan rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_{fm} = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2) \times 2}{4}$$

$$\alpha_{fm} = \frac{(5,68 + 4,88) \times 2}{4} = 5,28$$

5. Menentukan tebal minimum pelat

Dari perhitungan di atas nilai  $\alpha_{fm} > 2$ , maka menurut SNI 2847-2019 (tabel 8.3.1.2) tebal minimum 90 atau menggunakan persamaan berikut ini :

$$L_n = 8000 - 600 = 7400 \text{ mm}$$

$$F_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$B = \text{rasio bentang} : 7400/7400 = 1,00$$

$$h_{min} = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} = \frac{7400\left(0,8 + \frac{420}{1400}\right)}{36 + 9(1)} = \frac{7400 \cdot 1,1}{45} = 180,88 \text{ mm}$$

Tebal pelat lantai hasil perhitungan adalah  $h_{min} = 180,88 \text{ mm}$ . Berdasarkan hasil tersebut, maka tebal pelat aktual yang digunakan dalam analisa struktur SAP2000 untuk lantai dasar sampai lantai 9 adalah **200 mm**. Pemilihan tebal 200 mm ini bertujuan untuk menjamin kekakuan gedung dan memberikan keamanan ekstra terhadap lendutan pada bentang lebar (8 meter).

### 4.3 Analisa Pembebanan

#### 4.3.1 Beban Mati

Beban mati terdiri dari massa elemen struktur tersebut yang dihitung secara otomatis dengan program SAP2000. Selain beban mati struktur juga ada beban mati tambahan atau *super imposed dead load* (SIDL) yang berasal dari elemen non struktural.

1. Beban mati desain minimum
  - a. Plafon gypsum tebal 9 mm, (0,008 KN/m<sup>2</sup>) : 0,072 KN/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2020 tabel C3.1-1)
  - b. *Mechanical ducting* : 0,19 KN/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2020 tabel C3.1-1)
  - c. Keramik beserta spesi 25 mm : 1,1 KN/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2020 tabel C3.1-1)
  - d. Pasangan batu bata merah tebal 1/2 bata 1,87 KN/m<sup>2</sup> : 0,935 KN/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2020 tabel C3.1-1)
  - e. Plesteran : 0,24 KN/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2020 tabel C3.1-1)
  
2. Beban mati tambahan pelat lantai
  - a. Plafon gypsum tebal 9 mm : 0,072 KN/m<sup>2</sup>
  - b. *Mechanical ducting* : 0,19 KN/m<sup>2</sup>
  - c. Keramik beserta spesi 25 mm : 1,1 KN/m<sup>2</sup>
  
3. Beban mati tambahan pada plat atap dan tandon
  - a. Berat tandon (16m<sup>2</sup>) : 25 KN/m<sup>2</sup>
  - b. Utilitas roof top : 25 KN/m<sup>2</sup>

#### 4.3.2 Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan tidak kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan SNI 1727-2020 tabel 4.3.1

1. Beban hidup desain minimum
  - a. Beban hidup terfaktor ruang kelas, (min. 2,4 KN/m<sup>2</sup>) : 2,5 KN/m<sup>2</sup>
  - b. Beban hidup terfaktor koridor dan ruang public : 2,5 KN/m<sup>2</sup>
  - c. Beban hidup terfaktor ruang sebagai tempat berkumpul : 2,5 KN/m<sup>2</sup>

- d. Beban hidup langit-langit : 0,48  
 KN/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2020 tabel C3.1-1)

Beban hidup sebesar 2,5 kN/m<sup>2</sup> digunakan sebagai beban rata-rata rencana. Untuk area koridor, kapasitas layan pelat telah ditingkatkan melalui penggunaan tebal pelat aktual 200 mm (lebih besar dari  $h_{min}$  hasil hitungan 180,88 mm) guna menjamin keamanan terhadap beban puncak sirkulasi mahasiswa.

#### 4.3.3 Beban Hujan

Berat air hujan,  $R = (0,00981 \times (ds + dh))$

ds, tinggi statis genangan : 30 mm

dh, kepala hidraulik : 20 mm

$$R = 0,00981 (30+20) = 0,491 \text{ KN/m}^2$$

Beban hujan sebesar 0,491 kN/m<sup>2</sup> akan diaplikasikan pada elemen pelat atap sesuai dengan parameter curah hujan wilayah Yogyakarta dan sistem drainase gedung yang direncanakan.

#### 4.3.4 Beban Gempa

Analisis beban gempa pada gedung kampus UNU ini mengacu pada SNI 1926-2019 dengan tinjauan lokasi gempa di Kota Yogyakarta. Langkah-langkah dalam perencanaan beban gempa sebagai berikut :

- Kategori resiko bangunan

Berdasarkan dengan SNI 1917-2019 tabel 3, bangunan gedung dengan jenis pemanfaatan gedung kampus UNU termasuk dalam kategori resiko III.

- Faktor keutamaan gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019 tabel 4 bangunan gedung dengan kategori resiko III faktor keutamaan gempa  $I_e$  sebesar 1,25.

- Mendefinisikan klasifikasi situs dengan hasil uji SPT (*standar penetration test*). Lokasi data tanah di daerah Tembalang, Kota Yogyakarta.

Berdasarkan klasifikasi situs SNI 1726-2019 tabel 5, dapat diketahui bahwa

Tabel 4. 8 Rekapitulasi nilai SPT

NO	KEDALAMAN	T (m)	N (SPT)	N' T/N
1	0 - 2	2	3	0,666667
2	2 - 4	2	13	0,153846
3	4 - 6	2	37	0,054054
4	6 - 8	2	45	0,044444
5	8 - 10	2	60	0,033333
6	10 - 12	2	60	0,033333
7	12 - 14	2	60	0,033333
8	14 - 16	2	41	0,04878
9	16 - 18	2	47	0,042553
10	18 - 20	2	60	0,033333
11	20 - 22	2	60	0,033333
12	22 - 24	2	60	0,033333
JUMLAH		24	546	1,210345

$\Sigma N$  19,82906

(Sumber : Hasil analisis penulis, 2026)

$$N_{rata-rata} = \frac{\Sigma T}{\Sigma \left(\frac{T}{N}\right)} = \frac{24}{1,210} = 19,83$$

Berdasarkan klasifikasi situs (SNI 1726-2019 tabel 5), dapat diketahui dengan nilai 19,83 termasuk dalam kategori tanah sedang (SD).

Tabel 4. 9 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

(Sumber : SNI 1726-2019 tabel 5)

Parameter percepatan gempa ( $S_s$  dan  $S_1$ ) dapat dicari pada SNI 1926-2019 gambar 15 dan 16 atau melalui website [www.rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/](http://www.rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/) untuk wilayah Kota Semarang memiliki nilai  $S_s = 1,311$  g dan  $S_1 = 0,510$  g.

Results: Tabel dibawah ini merupakan Parameter untuk membuat Grafik Desain Spektra Indonesia:

Kelas	T <sub>0</sub> (detik)	T <sub>s</sub> (detik)	S <sub>d1</sub> (g)	S <sub>d1</sub> (g)
SBC - Batuan	0.08	0.40	0.67	0.27

Rentang T(s) Value: 0

PGA MCEG 0.4905 (g) bedrock

SS MCEG 1.1070 (g) bedrock

S1 MCEG 0.5070 (g) bedrock

TL 0 Detik

Save

Berdasar parameter percepatan gempa, koefisien situs ( $F_a$  dan  $F_s$ ) dapat

ditentukan berdasarkan SNI 1726-2019 tabel 6 dan 7.

Tabel 4. 10 Koef situs,  $F_a$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS <sup>(a)</sup>					

Nilai  $S_s$  didapat 1,311 g berada diantara 0,75 dan 1,0 dengan klasifikasi SD (tanah sedang), sehingga diperlukan interpolasi untuk mendapatkan nilai  $F_a$ .

Nilai  $S_s$  hasil tabel : 0,75 dan 1

Nilai kelas situs : SD

#### 4.3.5 Kombinasi Pembebanan

Menurut SNI 1726-2020 pasal 4.2.2.1 “Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen pondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai di bawah”.

1.  $1,4D$
2.  $1,2D + 1,6L + 0,5Lr$
3.  $1,2D + 1W + L + 0,5Lr$
4.  $0,9D + 1W$

Sementara kombinasi pembebanan dengan faktor kuat lebih, digunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 8.3.2.3 sebagai berikut :

1.  $(1,2 + 0,2S_{Ds})D + E + L$
2.  $(0,9 - 0,2S_{Ds})D + E$

Dari persamaan kombinasi di atas, dengan nilai  $SDS = 0,8$  diperoleh kombinasi

pembebanan dengan faktor kuat lebih sebagai berikut :

1.  $1,4D + 1,4SDL$
2.  $1,2D + 1,2SDL + 1,6LL$
3.  $1,34D + 1,34SDL + 1LL + 1EDx + 0,3EDy$
4.  $1,34D + 1,34SDL + 1LL + 1EDx - 0,3EDy$
5.  $1,34D + 1,34SDL + 1LL - 1EDx + 0,3EDy$
6.  $1,34D + 1,34SDL + 1LL - 1EDx - 0,3EDy$
7.  $1,34D + 1,34SDL + 1LL + 0,3EDx + 1EDy$
8.  $1,34D + 1,34SDL + 1LL + 0,3EDx - 1EDy$
9.  $1,34D + 1,34SDL + 1LL - 0,3EDx + 1EDy$
10.  $1,34D + 1,34SDL + 1LL - 0,3EDx - 1EDy$
11.  $0,75D + 0,75SDL + 1EDx + 0,3EDy$
12.  $0,75D + 0,75SDL + 1EDx - 0,3EDy$
13.  $0,75D + 0,75SDL - 1EDx + 0,3EDy$
14.  $0,75D + 0,75SDL - 1EDx - 0,3EDy$
15.  $0,75D + 0,75SDL + 0,3EDx + 1EDy$
16.  $0,75D + 0,75SDL + 0,3EDx - 1EDy$
17.  $0,75D + 0,75SDL - 0,3EDx + 1EDy$
18.  $0,75D + 0,75SDL - 0,3EDx - 1EDy$

#### 4.4 Analisa Struktur

Permodelan *undeformed shape* struktur bangunan Gedung Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta dapat dilihat pada gambar dibawah ini yang dimodelkan dari program SAP2000.

##### 4.4.1 Faktor Skala Beban Gempa Dengan Respon Spektrum SAP2000

Berdasarkan analisis beban gempa dinamis menggunakan metode *Response Spectrum*, faktor skala yang diinput ke dalam program SAP2000 ditentukan untuk memenuhi persyaratan gaya geser dasar (*base shear*) minimum sebesar 100% dari gaya geser statis sesuai dengan regulasi **SNI 1726:2019**.

Penetapan nilai faktor skala pada struktur ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Faktor Skala Dasar

Faktor skala dasar dihitung menggunakan persamaan:

$$Scale\ Factor = \frac{Ie}{R}g$$

Dimana:

- *Ie*: Faktor Keutamaan Gempa (Kategori Risiko IV untuk Gedung Pendidikan = 1,5).
- *R*: Faktor Modifikasi Respons (ditentukan berdasarkan sistem struktur yang digunakan).
- *g*: Percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>).

2. Skala Gempa Orthogonal (Kombinasi 100% dan 30%)

Untuk memperhitungkan pengaruh gempa dari arah yang tidak terduga, digunakan kombinasi beban orthogonal sesuai ketentuan standar desain struktur. Penerapan di dalam program SAP2000 dilakukan sebagai berikut:

- Load Case DX: Input beban arah utama (U1) sebesar 3,34 (100% gaya gempa arah X) dan arah tegak lurus (U2) sebesar 1,002 (30% gaya gempa arah Y).
- Load Case DY: Input beban arah utama (U2) sebesar 3,04 (100% gaya gempa arah Y) dan arah tegak lurus (U1) sebesar 0,912 (30% gaya gempa arah X).

3. Justifikasi Perbedaan Nilai Faktor Skala

Terdapat perbedaan nilai faktor skala antara arah X (3,34) dan arah Y (3,04). Hal ini disebabkan oleh:

- Karakteristik Dinamik Struktur: Adanya perbedaan kekakuan lateral struktur pada masing-masing sumbu utama akibat konfigurasi elemen struktural yang tidak simetris sempurna.
- Penskalaan Gaya Geser (*Base Shear Scaling*): Penyesuaian dilakukan secara terpisah pada masing-masing arah untuk memastikan respons dinamis di setiap sumbu telah mencapai target gaya geser statis minimum sesuai persyaratan teknis.

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	KOTA SMG	3,34

Show Advanced Load Parameters

Gambar 4. 1 Scale Factor Sumbu X

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	KOTA SMG	3,04

Show Advanced Load Parameters

Gambar 4. 2 Scale Factor Sumbu Y

#### 4.4.2 Kontrol Gaya Geser Gempa

Kontrol gaya geser dinamis untuk melihat mengetahui apakah gaya gempa dengan menggunakan respon spektrum sesuai dengan persyaratan SNI 1726;2019 pasal 7.8.1.1

1. Nilai  $C_s$  minimum :

$$C_s \text{ min} = 0,044 \times S_{DS} \times 1 \geq 0,01$$

$$C_s \text{ min} = 0,044 \times 0,6793 \times 1 \geq 0,01$$

$$C_s \text{ min} = 0,0298 \geq 0,01$$

2. Nilai  $C_s$  :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{1}\right)} = \frac{0,6793}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0849$$

3. Nilai  $C_s$  maks

$$C_s \text{ max} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{1}\right)} = \frac{0,4895}{2,357\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0259$$

Karena nilai  $C_s$  hitung (0,0849) lebih besar dari  $C_s \text{ max}$  (0,0259), maka digunakan nilai  $C_s \text{ max}$  Namun, karena nilai  $C_s \text{ max}$  lebih kecil dari  $C_s \text{ min}$  (0,0298), maka sesuai persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1, nilai yang digunakan adalah  $C_s \text{ min} = \mathbf{0,0298}$ .

Penentuan gaya geser dasar gempa dinamis struktur menggunakan persamaan nilai  $C_s$  dengan persamaan sebagai berikut :

$$V = C_s \times W_t$$

Dimana :

$C_s$  : koefisien respon seismic

$W_t$  : Total beban seismik efektif

Diketahui total beban seismik efektif ( $W_t$ ) sebesar : 413632,696 kN, maka :

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,0298 \times 413632,696 = 12326,254 \text{ kN}$$

$$0,85V = 0,85 \times 12326,254 = 10477,316 \text{ kN}$$

Tabel 4. 11 Hasil analisis gaya geser dasar

TABLE: Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	KN	KN
SX	LinStatic		-12057,645	-2,308E-09
SY	LinStatic		-1,069E-08	-12079,858
DX	LinRespSpec	Max	14374,485	43,512
DY	LinRespSpec	Max	39,604	15182,74

Berdasarkan Tabel 4. , diperoleh nilai gaya geser dasar dinamis arah X ( $V_{dinamis - X}$ ) sebesar 14.374,485 kN dan arah Y ( $V_{dinamis - Y}$ ) sebesar 15.182,74 kN. Kedua nilai tersebut telah melampaui batas minimum  $0,85V_{statik}$  yaitu 10.477,316 kN. Dengan demikian, persyaratan gaya geser dasar sesuai SNI 1726:2019 telah terpenuhi.

#### 4.4.3 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) seperti ditentukan dalam 0, atau 0, tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ) seperti didapatkan dari tabel 20 SNI 1726-2019 pasal 7.12.1.

Tabel 4. 12 Simpangan antar tingkat izin,  $\Delta_a^{a,b}$ 

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

$$\Delta x = \frac{(\delta_2 - \delta_1)Cd}{I} < \Delta_a \rightarrow \Delta_a h_x$$

Dimana :

$\Delta_x$  = simpangan antar lantai

$\delta$  = defleksi yang terjadi

$I$  = faktor keutamaan gempa

$h_x$  = tinggi di bawah tingkat x

$C_d$  = faktor pembesaran defleksi

Tabel 4. 13 Simpangan antar lantai output SAP2000

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
60	DX	LinRespSpec	Max	0	0	0	0	0	0
60	DY	LinRespSpec	Max	0	0	0	0	0	0
168	DX	LinRespSpec	Max	0,00855	0,001202	0,000011	0,000347	0,002677	0,000101
168	DY	LinRespSpec	Max	0,00014	0,008592	0,000081	0,002478	0,000043	4,61E-06
276	DX	LinRespSpec	Max	0,027668	0,003763	0,00002	0,000429	0,003443	0,000316
276	DY	LinRespSpec	Max	0,00044	0,026785	0,000153	0,00302	0,000053	0,000014
384	DX	LinRespSpec	Max	0,043995	0,00586	0,000026	0,00041	0,003379	0,000493
384	DY	LinRespSpec	Max	0,000683	0,041478	0,000197	0,002875	0,00005	0,000022
492	DX	LinRespSpec	Max	0,059549	0,007795	0,00003	0,000391	0,003256	0,000656
492	DY	LinRespSpec	Max	0,000905	0,055249	0,000227	0,002756	0,000048	0,000029
816	DX	LinRespSpec	Max	0,075664	0,009793	0,000033	0,000364	0,003053	0,000824
816	DY	LinRespSpec	Max	0,001132	0,069538	0,000248	0,002558	0,000048	0,000037
924	DX	LinRespSpec	Max	0,090323	0,011647	0,000036	0,000291	0,002445	0,000977
924	DY	LinRespSpec	Max	0,001344	0,082994	0,000263	0,00201	0,000047	0,000044
1032	DX	LinRespSpec	Max	0,098674	0,012713	0,000037	0,000233	0,001893	0,001066
1032	DY	LinRespSpec	Max	0,001468	0,090528	0,000266	0,001544	0,000032	0,000048
1140	DX	LinRespSpec	Max	0,104652	0,013487	0,000037	0,00018	0,001445	0,001132
1140	DY	LinRespSpec	Max	0,001557	0,095919	0,000266	0,001164	0,000025	0,000051
1228	DX	LinRespSpec	Max	0,109935	0,014199	0,000038	0,000154	0,000999	0,001191
1228	DY	LinRespSpec	Max	0,00164	0,100889	0,000267	0,000987	0,000021	0,000054

Tabel 4. 14 Rekapitulasi simpangan antar lantai arah X ( $\Delta_x$ )

lantai	Hsx mm	dx mm	$\Delta_x$ mm	$\Delta a$ (ijin) mm	kontrol $\Delta x < \Delta$ ijin
Lt. atap	5000	109,935	29,0565	100	OK
Lt. 9	4000	104,652	32,879	80	OK
Lt. 8	4000	98,674	45,9305	80	OK
Lt. 7	5000	90,323	80,6245	100	OK
Lt. 6	5000	75,664	88,6325	100	OK
Lt. 5	4.500	59,549	85,547	90	OK
Lt. 4	4.500	43,995	89,7985	90	OK
Lt. 3	5.500	27,668	105,149	110	OK
Lt. 2	5000	8,55	47,025	100	OK
Lt. 1	0	0	0	0	OK

Tabel 4. 15 Rekapitulasi simpangan antar lantai arah Y ( $\Delta y$ )

lantai	Hsx mm	dy mm	$\Delta_x$ mm	$\Delta a$ (ijin) mm	kontrol $\Delta x < \Delta$ ijin
Lt. atap	5000	100,889	27,335	100	OK
Lt. 9	4000	95,919	29,6505	80	OK
Lt. 8	4000	90,528	41,437	80	OK
Lt. 7	5000	82,994	74,008	100	OK
Lt. 6	5000	69,538	78,5895	100	OK
Lt. 5	4.500	55,249	75,7405	90	OK
Lt. 4	4.500	41,478	80,8115	90	OK
Lt. 3	5.500	26,785	100,0615	110	OK
Lt. 2	5000	8,592	47,256	100	OK
Lt. 1	0	0	0	0	OK

➤ **Metodologi Perhitungan**

- Analisis dilakukan pada titik kolom **K1** untuk mendapatkan nilai defleksi yang lebih representatif terhadap pusat massa gedung.
- Data defleksi elastis diambil dari output *Joint Displacements* SAP2000, yaitu kolom **U1** untuk arah X dan **U2** untuk arah Y.
- Simpangan antar tingkat desain ( $\Delta_x$ ) dihitung menggunakan rumus  $\Delta = \frac{(\delta_2 - \delta_1) \times C_d}{I_e}$  sesuai **SNI 1726:2019**, dengan nilai faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) sebesar **5,5** dan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) sebesar **1,0**.

➤ **Batas Simpangan Izin ( $\Delta_a$ )**

- Sesuai dengan **Tabel 20 SNI 1726:2019**, untuk kategori risiko II dan sistem struktur lainnya, batas simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ) ditentukan sebesar  **$0,020h_{sx}$** .
- Nilai izin terkecil berada pada lantai dengan tinggi 4000 mm sebesar **80 mm**, dan nilai izin terbesar pada lantai dengan tinggi 5500 mm sebesar **110 mm**.

➤ **Hasil Kontrol Simpangan**

- **Arah X:** Nilai simpangan antar tingkat desain tertinggi terjadi pada Lantai 3 sebesar **105,149 mm**, yang masih berada di bawah batas izin **110 mm**.
- **Arah Y:** Nilai simpangan antar tingkat desain tertinggi terjadi pada Lantai 3 sebesar **100,0615 mm**, yang masih berada di bawah batas izin **110 mm**.

➤ **Keputusan Akhir**

- Seluruh lantai pada peninjauan arah X maupun arah Y memberikan hasil "OK" atau memenuhi persyaratan keamanan struktur terhadap beban gempa.
- Dengan demikian, kekakuan struktur gedung dinyatakan memadai dan analisis dapat dilanjutkan ke tahap perencanaan penulangan elemen struktur (balok, kolom, dan pelat).

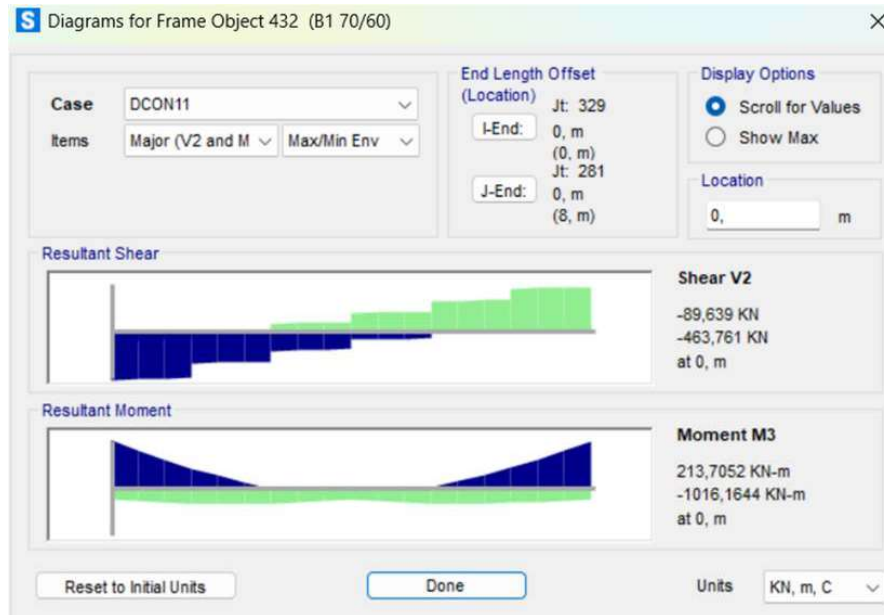
## **Perhitungan Tulangan Balok, Kolom, Plat Lantai**

### **4.4.4 Perhitungan Tulangan Balok**

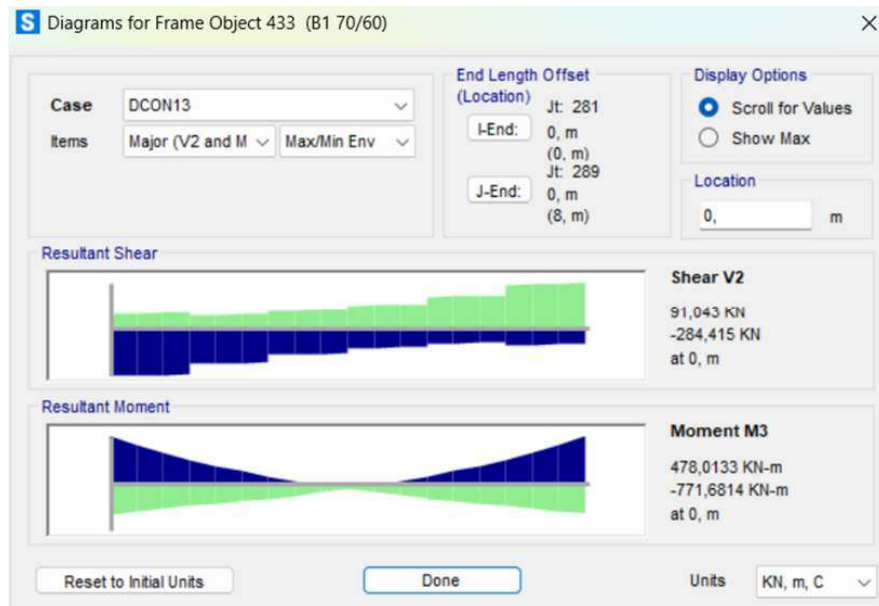
Perhitungan penulangan balok dalam perencanaan ini dilakukan dengan mengambil nilai *output* dari aplikasi *SAP2000* dan membandingkannya dengan perhitungan secara manual

#### **4.4.4.1 Penulangan Balok B1**

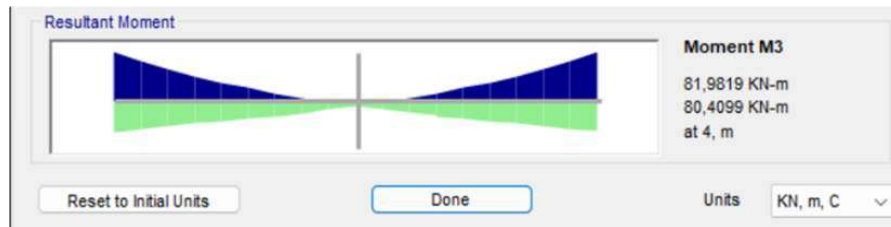
1. Perhitungan tulangan lentur



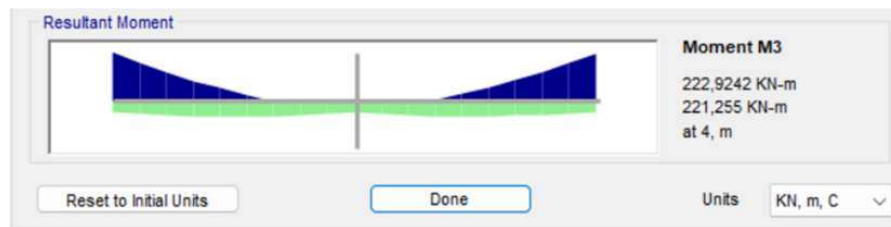
Gambar 4. 3 Output Momen Tumpuan Arah Negatif Balok B1



Gambar 4. 4 Output Momen Tumpuan Arah Positif Balok B1



Gambar 4. 5 Output Momen Lapangan Arah Negatif Balok B1



Gambar 4. 6 Output Momen Lapangan Arah Negatif Balok B1

- a. Mencari kebutuhan rasio tulangan dan kebutuhan tulangan pada balok

$$A_{smin} : \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \text{ (SNI 2849-2019 pasal 10.5.1)}$$

$$\rho_{perlu} : \frac{0,85 \times f_{c'} }{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'}}} \right)$$

$$\rho_{max1} : 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'} }{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$: 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,775 \times 37,350}{420} \left( \frac{600}{600 + 420} \right)$$

$$: 0,258$$

$$\rho_{max2} : 0,025 \text{ (SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.1)}$$

- b. Penulangan tumpuan negatif

$$M_u : 1016,1644 \text{ KNm}$$

$$M_n : \frac{M_u}{0,9} = \frac{1016,1644}{0,9} = 1129,0716 \text{ kNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{1129,0716 \times 10^6}{600 \times 635,5^2} = 4,66 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4,66}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,0121$$

$$AS_{\text{perlu}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,0121 \times 600 \times 635,5 = 4514 \text{ mm}^2$$

$$AS_{\text{min}} : \frac{1,4}{fy} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 600 \times 635,5 = 1271 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 8D29

$$AS_{\text{pakai}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 8 \times 0,7854 \times 29^2$$

$$: 5282 \text{ mm}^2$$

$$a : As \times fy / (0,85 \times fc' \times b)$$

$$: 5282 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 600)$$

$$: 116,5 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times fy \times (d - a/2)$$

$$: 5282 \times 420 \times (635,5 - 116,5 / 2)$$

$$: 1280,29 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 1280,29 \times 0,9$$

$$: 1152,26 \text{ KNm}$$

$$As_{\text{min}} \leq As_{\text{pakai}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$1271 \leq 5282 \geq 4514 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$1152,26 > 1016,1644 \text{ OK}$$

c. Penulangan tumpuan positif

$$Mu : 478,0133 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{478,0133}{0,9} = 531,126 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{531,126 \times 10^6}{600 \times 635,5^2} = 2,192$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,192}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00542$$

$$A_{S\text{perlu}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,00542 \times 600 \times 635,5 = 2068,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{S\text{min}} : \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 600 \times 635,5 = 127,2 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 5D25

$$A_{S\text{pakai}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 5 \times 0,7854 \times 25^2$$

$$: 2454,4 \text{ mm}^2$$

$$a : A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b)$$

$$: 2454,4 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 600)$$

$$: 54,15 \text{ mm}$$

$$Mn : A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$: 2454,4 \times 420 \times (635,5 - 54,15/2)$$

$$: 627,2 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 627,2 \times 0,9$$

$$: 564,5 \text{ KNm}$$

$$A_{S\text{min}} \leq A_{S\text{pakai}} \geq A_{S\text{perlu}}$$

$$127,2 \leq 2454,4 \geq 2068,5 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$564,5 > 478,0133 \text{ OK}$$

d. Penulangan lapangan negatif

$$Mu : 222,9242 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{222,9242}{0,9} = 247,6936 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{247,6936 \times 10^6}{600 \times 635,5^2} = 1,022 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,022}{0,85 \times 7,350}} \right)$$

$$: 0,00247$$

$$As_{\text{perlu}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,00247 \times 600 \times 635,5 = 942,6 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{min}} : \frac{1,4}{fy} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 600 \times 635,5 = 1271 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D25

$$As_{\text{pakai}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 3 \times 0,7854 \times 25^2$$

$$: 1472,6 \text{ mm}^2$$

$$a : As \times fy / (0,85 \times fc' \times b)$$

$$: 1472,6 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 600)$$

$$: 32,48 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times fy \times (d - 32,48 / 2)$$

$$: 1472,6 \times 420 \times (635,5 - 32,48 / 2)$$

$$: 383,12 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 383,12 \times 0,9$$

$$: 344,81 \text{ KNm}$$

$$As_{\text{min}} \leq As_{\text{pakai}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$1271 \leq 1472,6 \geq 942,6 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$344,81 > 222,9242 \text{ OK}$$

e. Penulangan lapangan positif

$$Mu : 81,9819 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{81,9819}{0,9} = 91,091 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{91,091 \times 10^6}{600 \times 635,5^2} = 0,376 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,376}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,000900$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,000900 \times 600 \times 635,5 = 343,17 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{min}}} : \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 600 \times 635,5 = 1271 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 4D25

$$A_{S_{\text{pakai}}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 4 \times 0,7854 \times 25^2$$

$$: 1963,5 \text{ mm}^2$$

$$a : As \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b)$$

$$: 1963,5 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 600)$$

$$: 43,29 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times f_y \times (d - a/2)$$

$$: 1963,5 \times 420 \times (635,5 - 32,48 / 2)$$

$$: 506,23 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 506,23 \times 0,9$$

$$: 455,61 \text{ KNm}$$

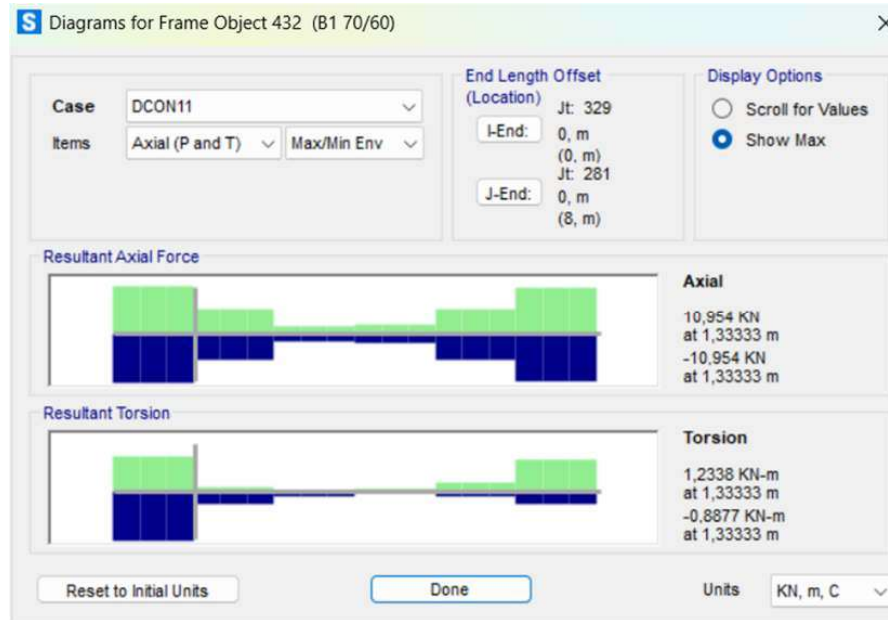
$$A_{S_{\text{min}}} \leq A_{S_{\text{pakai}}} \geq A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$1271 \leq 1963,5 \geq 343,17 \text{ OK}$$

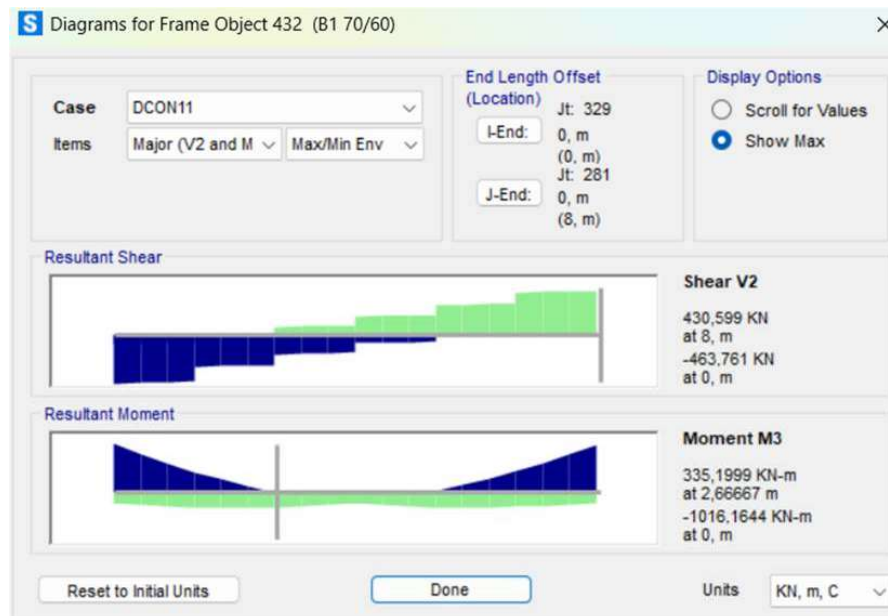
$$\phi Mn > Mu$$

$$455,61 > 81,9819 \text{ OK}$$

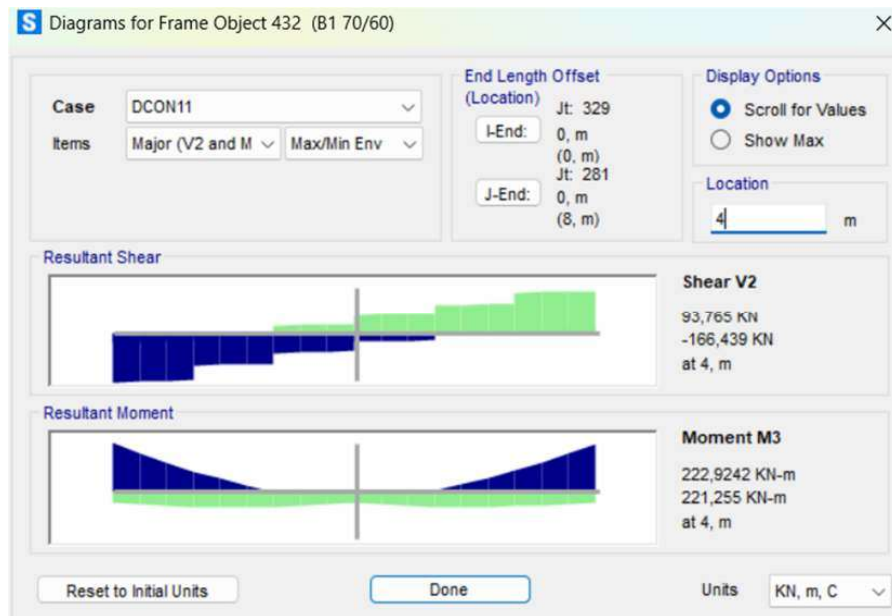
## 2. Penulangan geser balok B1



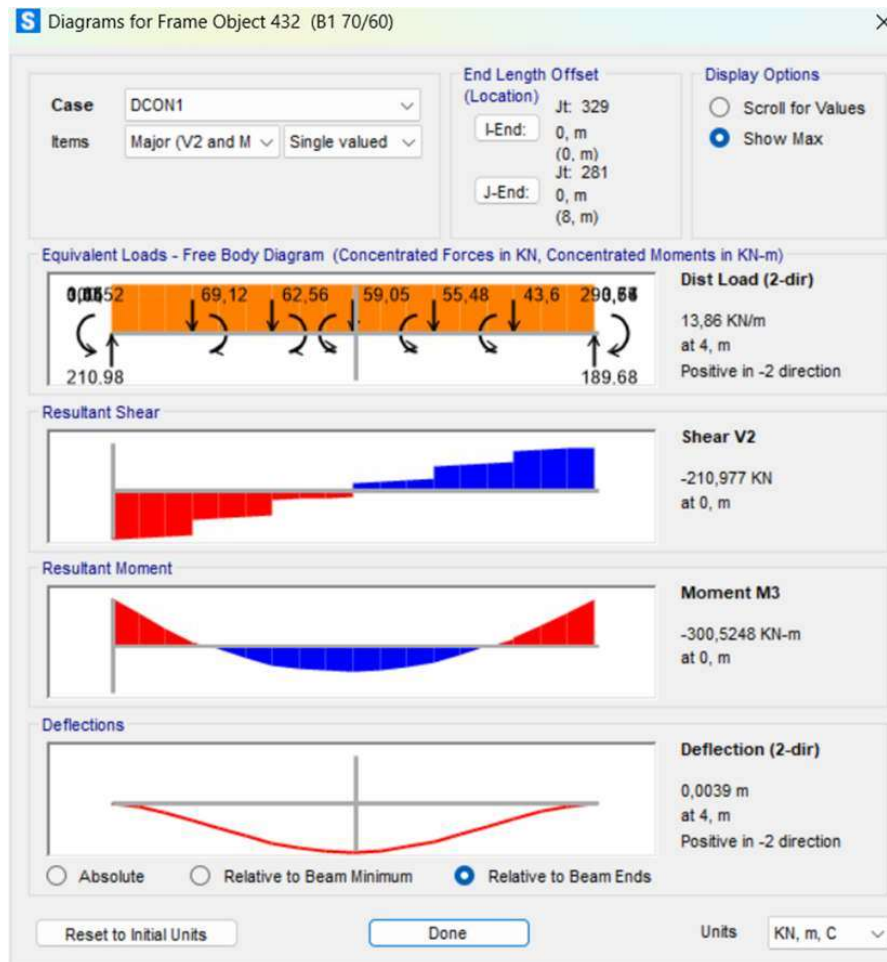
Gambar 4. 7 Output Gaya Aksial Balok B1



Gambar 4. 8 Output Gaya Geser Tumpuan Balok B1



Gambar 4. 9 Output Gaya Geser Lapangan Balok B1



Gambar 4. 10 Output Gaya Geser Desain 1,2 D + 1,6 L Tumpuan Balok B1

a. Gaya geser pada balok

Dari gambar diatas dapat diambil kesimpulan bahwa gaya geser yang terjadi pada balok B1 adalah sebagai berikut:

$V_u$  tumpuan : 4363,761 kN

$V_u$  lapangan : 166,439 kN

$V_g$  tumpuan : 210,977 kN

$P_u$  : 10,954 kN

b. Menghitung gaya desain tumpuan

$$a_{pr(+)} : \frac{1,25 \times A_s(+)}{0,85 \times f_{c'} \times b} \times f_y = \frac{1,25 \times 2454,4 \times 420}{0,85 \times 37,350 \times 600} = 67,62 \text{ mm}$$

$$a_{pr(-)} : \frac{1,25 \times A_s(-)}{0,85 \times f_{c'} \times b} \times f_y = \frac{1,25 \times 5282 \times 420}{0,85 \times 37,350 \times 600} = 145,47 \text{ mm}$$

$$M_{pr+} : A_s^+ \times (1,25 f_y) \times (d - a_{pr+}/2)$$

$$: 2454,4 \times (1,25 \times 420) \times (635,5 - 67,62 / 2)$$

$$: 775,2 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr-} : A_s^- \times (1,25 f_y) \times (d - a_{pr-}/2)$$

$$: 5282 \times (1,25 \times 420) \times (635,5 - 145,47 / 2)$$

$$: 1560 \text{ Nmm}$$

$$V_{pr} : (M_{pr+} + M_{pr-}) / L_n$$

$$: (775,2 + 1560) / 7000$$

$$: 333,6 \text{ N}$$

$$V_e : V_g + V_{pr}$$

$$: 210,977 + 333,6$$

$$: 544,577 \text{ N}$$

c. Menghitung tahanan geser beton

$$0,5 \times V_e : 0,5 \times 544,577 : 272,289 \text{ N}$$

$$P_u : 10,954 \text{ KN}$$

$$A_g f_{c'} / 20 : 600 \times 700 \times 37,350 / 20$$

$$: 784,35 \text{ N}$$

Kuat geser yang disumbangkan beton pada elemen struktur dihitung sesuai SNI 2847:2019 Pasal 22.4.2.2.

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 22.4.2.2, kontribusi beton  $V_c$  diabaikan apabila:

$$P_u \geq \frac{A_g f_{c'}}{20}$$

$$P_u \geq \frac{A_g f_{c'}}{20} : \frac{600 \times 700 \times 37,350}{20} : 784,35 \text{ N}$$

Karena  $P_u = 10,954 \text{ kN} > 784,35 \text{ kN}$ , maka syarat tidak terpenuhi.

Berdasarkan hasil di atas, kontribusi beton terhadap kuat geser diabaikan:

$$V_c = 0 \text{ N}$$

## d. Penulangan geser tumpuan

Dicoba menggunakan tulangan geser 2 kaki D13-80

$$A_v : n \times \pi/4 \times ds^2$$

$$: 2 \times 0,7854 \times 13^2 = 265,465 \text{ mm}^2$$

$$S_{pakai} : 80 \text{ mm}$$

$$S_{max1} : d / 4$$

$$: 635,5 / 4 = 158,875 \text{ mm}$$

$$S_{max2} : 6db: 6 \times 13 : 78 \text{ mm}$$

$$V_s : A_v \times f_{yv} \times d / s$$

$$: 265,465 \times 420 \times 635,5 / 80$$

$$: 885,749.72 \text{ N}$$

$$\text{Batas } V_s : 0.66 \times (f_c')^{0.5} \times b \times d$$

$$: 0.66 \times (37,350)^{0.5} \times 600 \times 635,5$$

$$: 48,628,889 \text{ N}$$

$$V_n : V_c + V_s$$

$$: 0 + 885,749.72$$

$$: 885,749.72 \text{ N}$$

$$V_u = V_e : 544,577 \text{ N}$$

$$\phi V_n / V_u : 0,75 \times 885,749.72 / 544,577$$

$$: 1.22$$

$$\phi V_n / V_u \geq 1 : 1.22 > 1 \text{ OK}$$

## e. Penulangan geser lapangan

Asumsi jumlah kaki = 2 kaki D13-100

$$A_v : n \times \pi/4 \times ds^2$$

$$: 2 \times 0,7854 \times 13^2 = 265,465 \text{ mm}^2$$

$$S_{pakai} : 100 \text{ mm}$$

$$S_{max} : d / 2$$

$$: 635,5 / 2 = 317,75 \text{ mm}$$

$$V_s : A_v \times f_{yv} \times d / s$$

$$\begin{aligned}
 & : 265,465 \times 420 \times 635,5 / 100 \\
 & : 708,600 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s & : 0.66 \times (f_c')^{0.5} \times b \times d \\
 & : 0.66 \times (37,350)^{0.5} \times 600 \times 635,5 \\
 & : 48,628,889 \text{ N} \\
 V_n & : V_c + V_s \\
 & : 0 + 708,600 \\
 & : 708,600 \text{ N} \\
 V_u & : 166,439 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u & : 0,75 \times 708,600 / 166,439 \\
 & : 3.19
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n / V_u \geq 1 \quad : 3.19 \geq 1 \text{ OK}$$

f. Pengecekan tulangan lentur berdasarkan *output*  $A_s$  dan aplikasi *SAP2000*

Berdasarkan hasil analisis aplikasi *SAP2000* diperoleh  $A_{s\text{perlu}}$  tiap tumpuan:

$$A_{s\text{perlu}} \text{ tumpuan atas} \quad : 4409 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{perlu}} \text{ tumpuan bawah} \quad : 2125 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{perlu}} \text{ lapangan atas} \quad : 1435 \text{ mm}^2$$

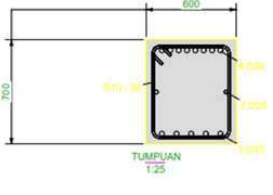
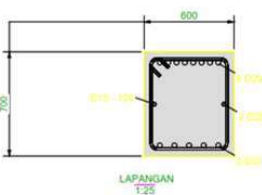
$$A_{s\text{perlu}} \text{ lapangan bawah} \quad : 1498 \text{ mm}^2$$

Tabel 4. 16 Perbandingan luas tulangan perlu manual dan *output* *SAP2000*

posisi	$A_{s\text{perlu}}$ <i>SAP2000</i> (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{min}}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{perlu}}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{pasang}}$ (mm <sup>2</sup> )
Tumpuan Atas	4409	1271	4514	5282
Tumpuan Bawah	2125	1272	2068,5	2454,4
Lapangan Atas	1435	1272	942,6	1472,6

Lapangan	1498	1271	343,17	1963,5
Bawah				

Sumber: Hasil Analisi Penulis, 2026

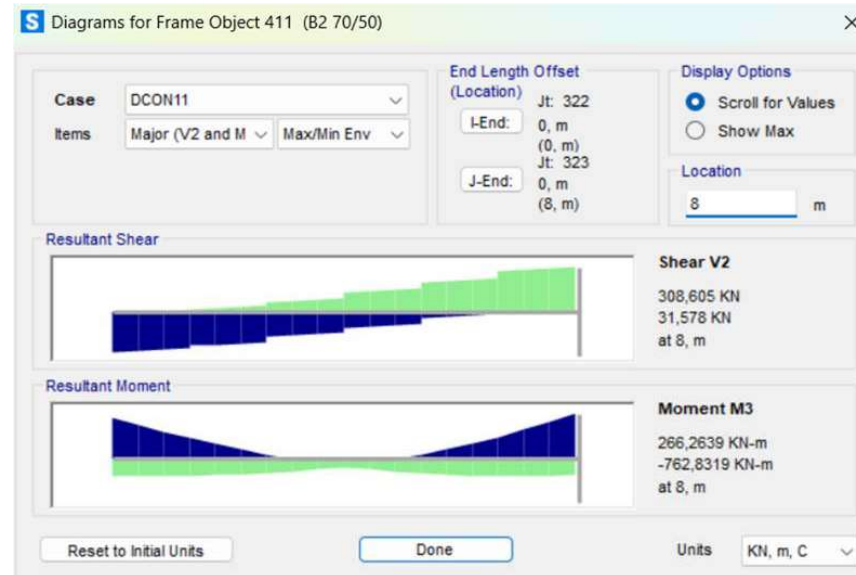
NAMA BALOK	B1	
PELETAKAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI BALOK	700/600	700/600
TULANGAN ATAS	8 D 29	3 D 25
TULANGAN TENGAH	2 D 25	2 D 25
TULANGAN BAWAH	5 D 25	4 D 25
TULANGAN SENGKANG	2 D 13 - 80	2 D 13 - 100
TEBAL SELIMUT	40	40

Gambar 4. 11 Detail Penulangan Balok B1

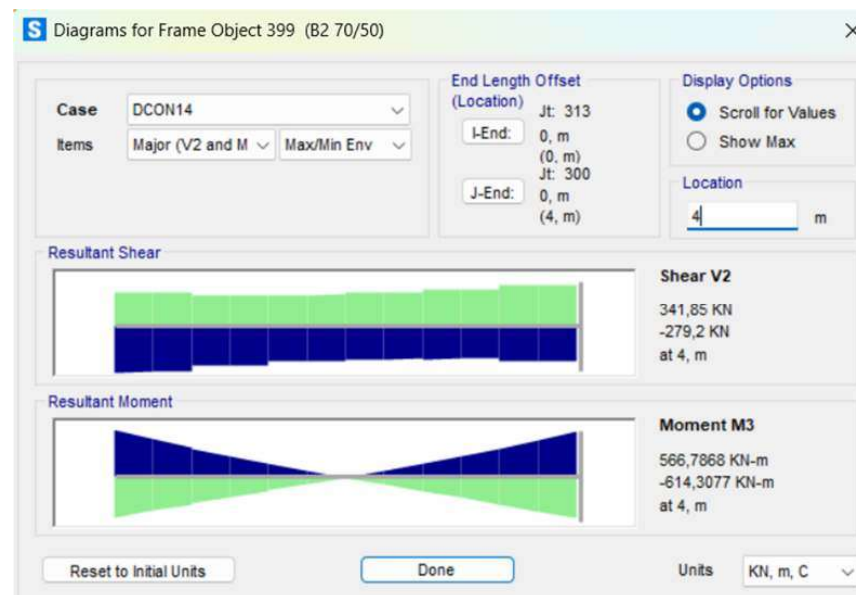
Sumber: Hasil Analisi Penulis, 2026

#### 4.4.4.2 Penulangan Balok B2

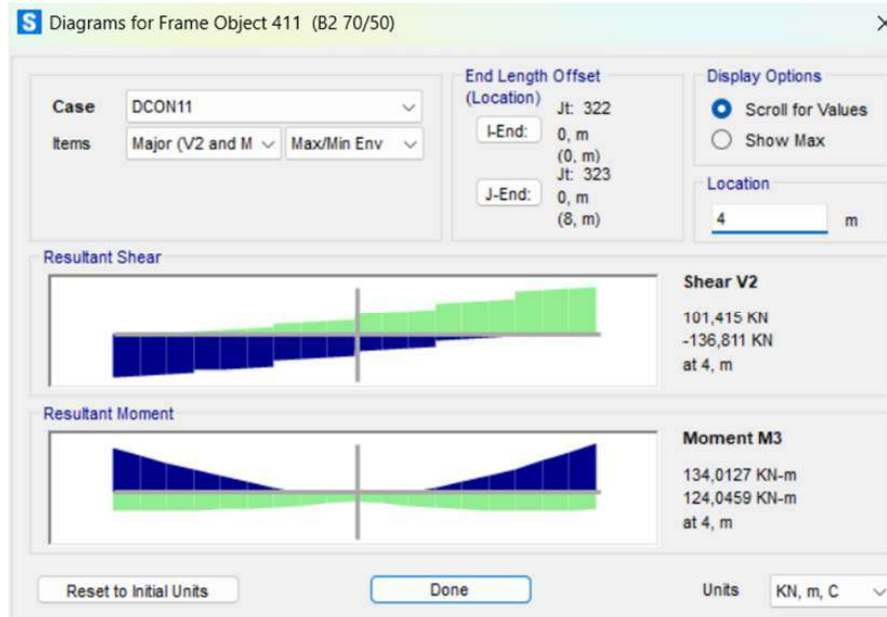
##### 1. Perhitungan tulangan lentur



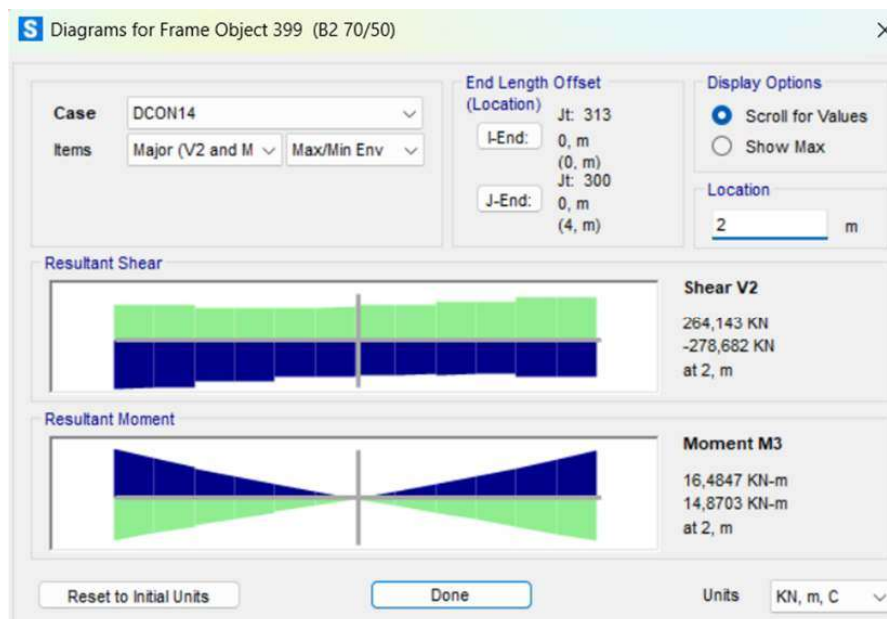
Gambar 4. 12 Output Momen Tumpuan Arah Negatif Balok B2



Gambar 4. 13 Output Momen Tumpuan Arah Positif Balok B2



Gambar 4. 14 Output Momen Lapangan Arah Negatif Balok B2



Gambar 4. 15 Output Momen Lapangan Arah Positif Balok B2

a. Mencari kebutuhan rasio tulangan dan kebutuhan tulangan pada balok

$$A_{Smin} : \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \text{ (SNI 2849-2019 pasal 10.5.1)}$$

$$\rho_{perlu} : \frac{0,85 \times f_{c'} }{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'}}} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho_{max1} &: 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &: 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,775 \times 37,350}{420} \left( \frac{600}{600 + 420} \right) \\ &: 0,022 \end{aligned}$$

$$\rho_{max2} : 0,025 \text{ (SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.1)}$$

b. Penulangan tumpuan negatif

$$M_u : 762,8319 \text{ KNm}$$

$$M_n : \frac{M_u}{0,9} = \frac{762,8319}{0,9} = 847,791 \text{ KNm}$$

$$R_n : \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{847,791 \times 10^6}{500 \times 635,5^2} = 4,197 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &: \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4,197}{0,85 \times 37,350}} \right) \\ &: 0,01076 \end{aligned}$$

$$A_{Sperlu} : \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$: 0,01076 \times 500 \times 635,5 = 3418,99 \text{ mm}^2$$

$$A_{Smin} : \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 500 \times 635,5 = 1059 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 6D29

$$A_{Spakai} : n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$: 6 \times 0,7854 \times 29^2$$

$$: 3963 \text{ mm}^2$$

$$a : A_s \times f_y / (0,85 \times f_{c'} \times b)$$

$$: 3963 \times 420 / (0.85 \times 37,350 \times 500)$$

$$: 104,86 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times fy \times (d - a/2)$$

$$: 3963 \times 420 \times (635,5 - /2)$$

$$: 970,30 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 970,30 \times 0,9$$

$$: 873,27 \text{ KNm}$$

$$As_{min} \leq As_{pakai} \geq As_{perlu}$$

$$1059 \leq 3963 \geq 3418,99 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$873,27 > 762,8319 \text{ OK}$$

c. Penulangan tumpuan positif

$$Mu : 566,7868 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{566,7868}{0,9} = 629,7631 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{\times 10^6}{500 \times 635,5^2} = 3,12 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,12}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00783$$

$$As_{perlu} : \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$: 0,00783 \times 500 \times 635,5 = 2486,7 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} : \frac{1,4}{fy} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 500 \times 635,5 = 1059,2 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 6D25

$$As_{pakai} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 6 \times 0,7854 \times 25^2$$

$$: 2945,4 \text{ mm}^2$$

$$a : As \times fy / (0.85 \times fc' \times b)$$

$$: 2945,4 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 500)$$

$$: 77,9 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times fy \times (d - a/2)$$

$$: 2945,4 \times 420 \times (635,5 - 77,9 / 2)$$

$$: 737,49 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 737,49 \times 0,9$$

$$: 663,74 \text{ KNm}$$

$$As_{min} \leq As_{pakai} \geq As_{perlu}$$

$$1059,2 \leq 2945,4 \geq 2486,7 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$663,74 > 566,7868 \text{ OK}$$

d. Penulangan lapangan negatif

$$Mu : 134,0127 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{134,0127}{0,9} = 148,903 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{148,903 \times 10^6}{500 \times 635,5^2} = 0,737$$

$$\rho_{perlu} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,737}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00117$$

$$As_{perlu} : \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$: \times 500 \times 635,5 = 562,5 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} : \frac{1,4}{fy} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 500 \times 635,5 = 1059,2 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D22

$$As_{pakai} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 3 \times 0,7854 \times 22^2$$

$$: 1140,4 \text{ mm}^2$$

$$a : As \times fy / (0,85 \times fc' \times b)$$

$$: 1140,4 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 500)$$

$$: 30,2 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times fy \times (d - a/2)$$

$$: 1140,4 \times 420 \times (635,5 - 30,2 / 2)$$

$$: 297,13 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 297,13 \times 0,9$$

$$: 267,42 \text{ KNm}$$

$$As_{min} \leq As_{pakai} \geq As_{perlu}$$

$$1059,2 \leq 1140,4 \geq 562,5 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$267,42 > 134,0127 \text{ OK}$$

e. Penulangan lapangan positif

$$Mu : 16,4847 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{16,4847}{0,9} = 18,3163 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{18,3163 \times 10^6}{500 \times 635,5^2} = 0,0907$$

$$\rho_{perlu} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,0907}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,000216$$

$$As_{perlu} : \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$: 0,000216 \times 500 \times 635,5 = 68,6 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} : \frac{1,4}{fy} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 500 \times 635,5 = 1059,2 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 4D22

$$As_{pakai} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 4 \times 0,7854 \times 22^2$$

$$: 1520 \text{ mm}^2$$

$$a : As \times fy / (0,85 \times fc' \times b)$$

$$: 1520 \times 420 / (0.85 \times 37,350 \times 500)$$

$$: 40,21 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times fy \times (d - a/2)$$

$$: 1520 \times 420 \times (635,5 - /2)$$

$$: 265,54 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 265,54 \times 0,9$$

$$: 238,99 \text{ KNm}$$

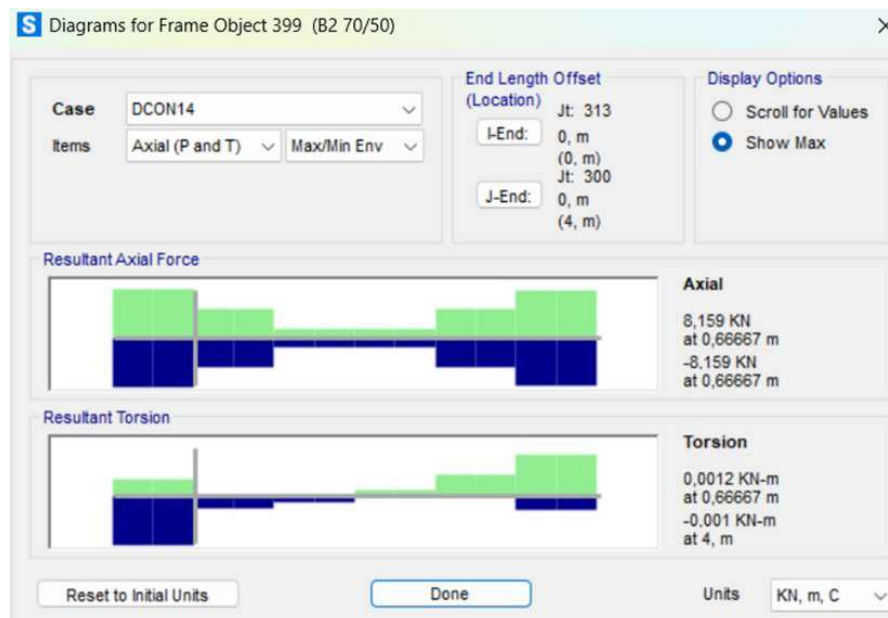
$$As_{min} \leq As_{pakai} \geq As_{perlu}$$

$$1059,2 \leq 1520 \geq 68,6 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$238,99 > 16,4847 \text{ OK}$$

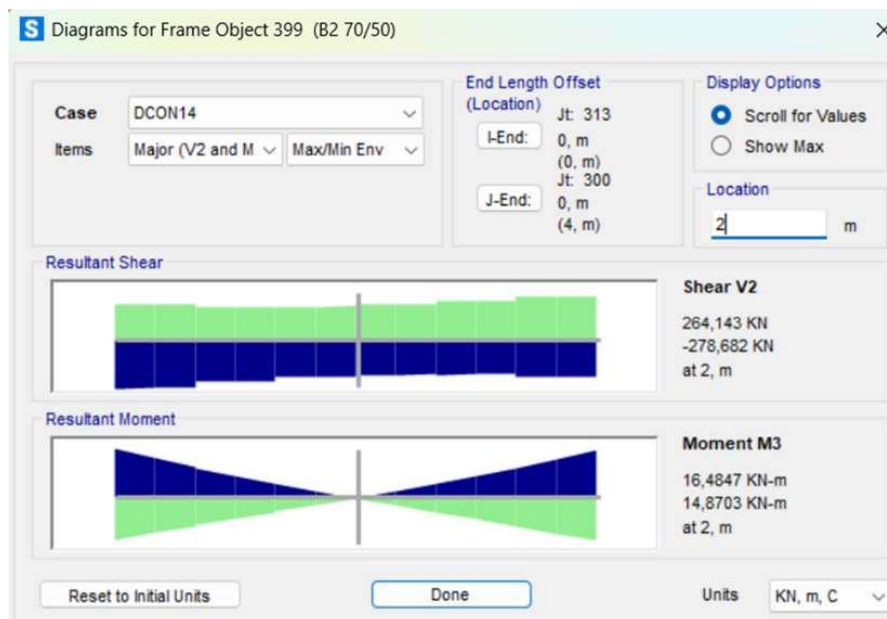
## 2. Penulangan geser balok B2



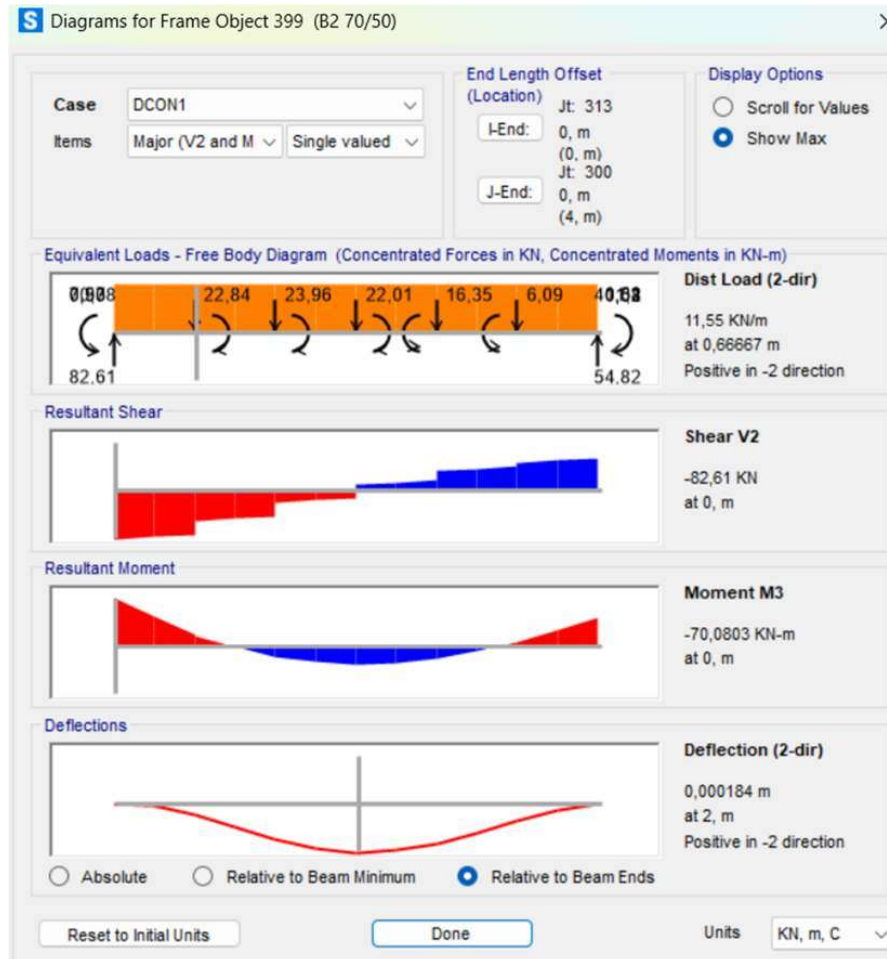
Gambar 4. 16 Output Gaya Aksial Balok B2



Gambar 4. 17 Output Gaya Geser Tumpuan Balok B2



Gambar 4. 18 Output Gaya Geser Lapangan Balok B2



Gambar 4. 19 Output Gaya Geser Desain 1,2 D + 1,6 L Tumpuan Balok B2

a. Gaya geser pada balok

Dari gambar diatas dapat diambil kesimpulan bahwa gaya geser yang terjadi pada balok B2 adalah sebagai berikut:

$V_u$  tumpuan : 368,789 KN

$V_u$  lapangan : 278,682 KN

$V_g$  tumpuan : 82,61 KN

$P_u$  : 8,159 KN

b. Menghitung gaya desain tumpuan

$$a_{pr(+)} : \frac{1,25 \times A_s(+)}{0,85 \times f_{c'} \times b} \times f_y = \frac{1,25 \times 566,7868 \times 420}{0,85 \times 37,750 \times 500} = 18,55$$

mm

$$a_{pr(-)} : \frac{1,25 \times A_s(-)}{0,85 \times f_{c'} \times b} \times f_y = \frac{1,25 \times 762,8319 \times 420}{0,85 \times 37,750 \times 500} = 24,97 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr+} &: A_s^+ \times (1,25 f_y) \times (d - a_{pr+}/2) \\ &: 566,7868 \times (1,25 \times 420) \times (635,5 - 18,55 / 2) \\ &: 186,33 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr-} &: A_s^- \times (1,25 f_y) \times (d - a_{pr-}/2) \\ &: 762,8319 \times (1,25 \times 420) \times (635,5 - 24,97 / 2) \\ &: 249,65 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{pr} &: (M_{pr+} + M_{pr-}) / L_n \\ &: (186,33 + 249,65) / 7000 \\ &: 62,28 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_e &: V_g + V_{pr} \\ &: 82,61 + 62,28 \\ &: 144,89 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Menghitung tahanan geser beton

$$\begin{aligned} 0,5 \times V_e &: 0,5 \times 144,89 \\ &: 72,445 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u : 8159 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} A_g f_{c'} / 20 &: 500 \times 700 \times 37,3500 / 20 \\ &: 653,625 \text{ N} \end{aligned}$$

Jika  $V_{pr} \geq 1,2 V_e$  dan  $P_u < A_g \times f_{c'} / 20$ , maka  $V_c$  diperhitungkan

$$\begin{aligned} V_c &: 0,17 \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d \\ &: 0,17 \times \sqrt{37,3500} \times 500 \times 635,5 \\ &: 330,243 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &: 0,75 \times 330,243 \\ &: 247,67 \text{ N} \end{aligned}$$

d. Penulangan geser tumpuan

Dicoba menggunakan tulangan geser 2 kaki D13-100

$$\begin{aligned}
 A_v &: n \times \pi/4 \times ds^2 \\
 &: 2 \times 0,7854 \times 13^2 = 265,465 \text{ mm}^2 \\
 S_{pakai} &: 100 \text{ mm} \\
 S_{max1} &: d / 4 \\
 &: 635,5 / 4 = 158.875 \text{ mm} \\
 S_{max2} &: 150 \text{ mm} \\
 V_s &: A_v \times f_{yv} \times d / s \\
 &: 265,465 \times 420 \times 635,5 / 100 \\
 &: 708,840 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s &: 0.66 \times (f_c')^{0.5} \times b \times d \\
 &: 0.66 \times (37,350)^{0.5} \times 500 \times 635,5 \\
 &: 1281 \text{ N} \\
 V_n &: V_c + V_s \\
 &: 330,243 + 708,840 \\
 &: 1039,083 \text{ N} \\
 V_u = V_e &: 368,789 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u &: 0,75 \times 1039,083 / 368,789 \\
 &: 779,312 / 368,789 = 2.11 \\
 \phi V_n / V_u \geq 1 &: 2.11 \geq 1 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

e. Penulangan geser lapangan

Asumsi jumlah kaki = 2 kaki D13-100

$$\begin{aligned}
 A_v &: n \times \pi/4 \times ds^2 \\
 &: 2 \times 0,7854 \times 13^2 = 265,465 \text{ mm}^2 \\
 S_{pakai} &: 100 \text{ mm} \\
 S_{max} &: d / 2 \\
 &: 635,5 / 2 = 317.75 \\
 V_s &: A_v \times f_{yv} \times d / s \\
 &: 265,465 \times 420 \times 635,5 / 100 \\
 &: 708,840 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s &: 0.66 \times (f_c')^{0.5} \times b \times d \\
 &: 0.66 \times (37,350)^{0.5} \times 500 \times 635,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & : 1281 \text{ N} \\
 V_n & : V_c + V_s \\
 & : 330,243 + 708,840 \\
 & : 1039,083 \text{ N} \\
 V_u & : 278,682 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u & : 0,75 \times 1039,083 / 278,682 \\
 & : 779,312 / 278,682 = 2.80
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n / V_u \geq 1 : 2.80 \geq 1 \text{ OK}$$

f. Pengecekan tulangan lentur berdasarkan *output*  $A_s$  dan aplikasi *SAP2000*

Berdasarkan hasil analisis aplikasi *SAP2000* diperoleh  $A_{s\text{perlu}}$  tiap tumpuan:

$$A_{s\text{perlu}} \text{ tumpuan atas} : 3022 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{perlu}} \text{ tumpuan bawah} : 1639 \text{ mm}^2$$

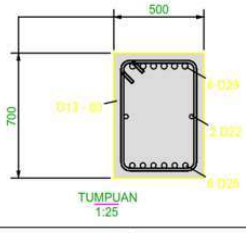
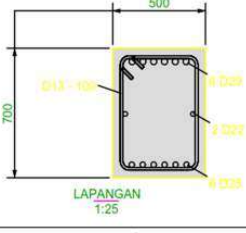
$$A_{s\text{perlu}} \text{ lapangan atas} : 1196 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{perlu}} \text{ lapangan bawah} : 1196 \text{ mm}^2$$

Tabel 4. 17 Perbandingan luas tulangan perlu manual dan *output* *SAP2000*

	$A_{s\text{perlu}}$ SAP2000 (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{min}}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{perlu}}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{pasang}}$ (mm <sup>2</sup> )
Tumpuan Atas	3022	1059,2	3418,99	3963
Tumpuan Bawah	1639	1059,2	2486,7	2945,4
Lapangan Atas	1196	1059,2	562,5	1520
Lapangan Bawah	1196	1059,2	68,6	1520

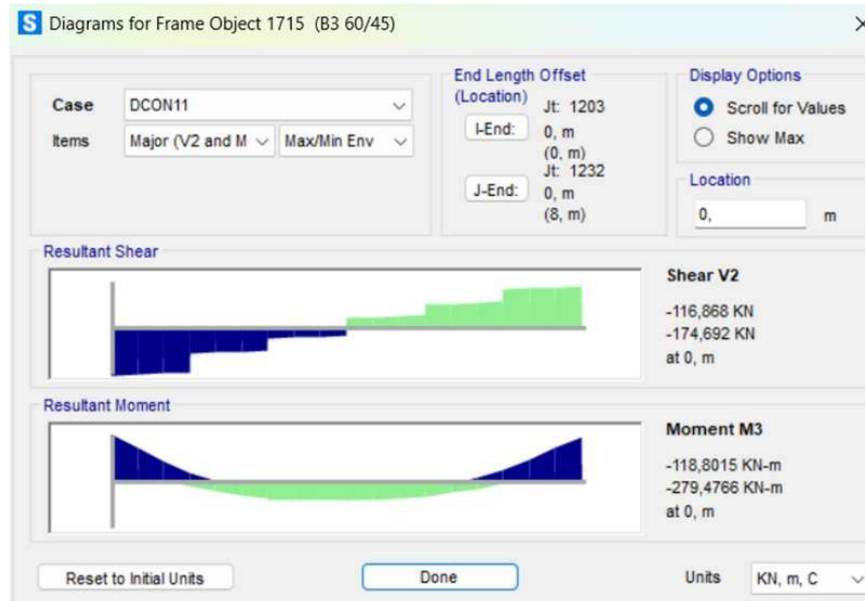
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2026

NAMA BALOK	B2	
PELETAKAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI BALOK	700/500	700/500
TULANGAN ATAS	6 D 29	3 D 22
TULANGAN TENGAH	2 D 22	2 D 22
TULANGAN BAWAH	6 D 25	4 D 22
TULANGAN SENGKANG	2 D 13 - 80	2 D 13 - 100
TEBAL SELIMUT	40	40

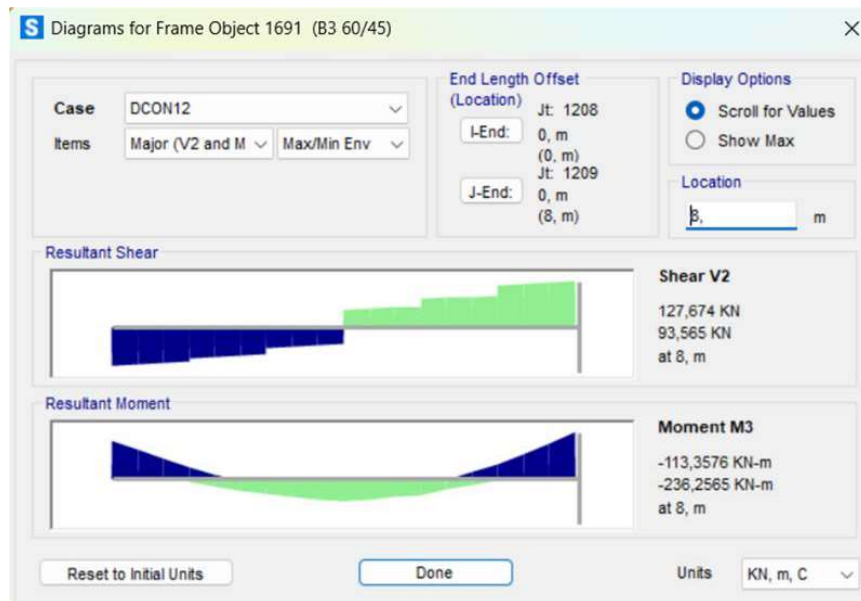
Gambar 4. 20 Detail Penulangan Balok B2

#### 4.4.4.3 Penulangan Balok B3

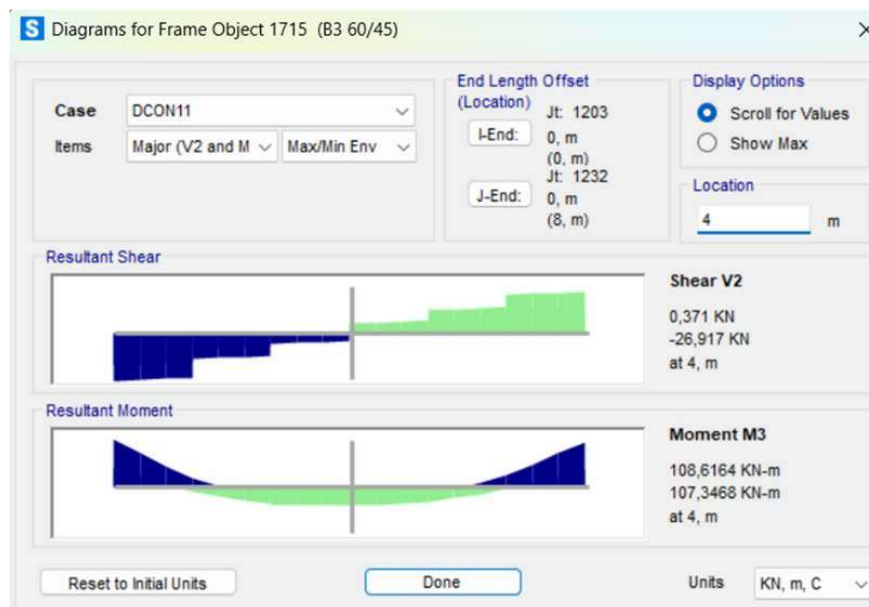
##### 1. Perhitungan tulangan lentur



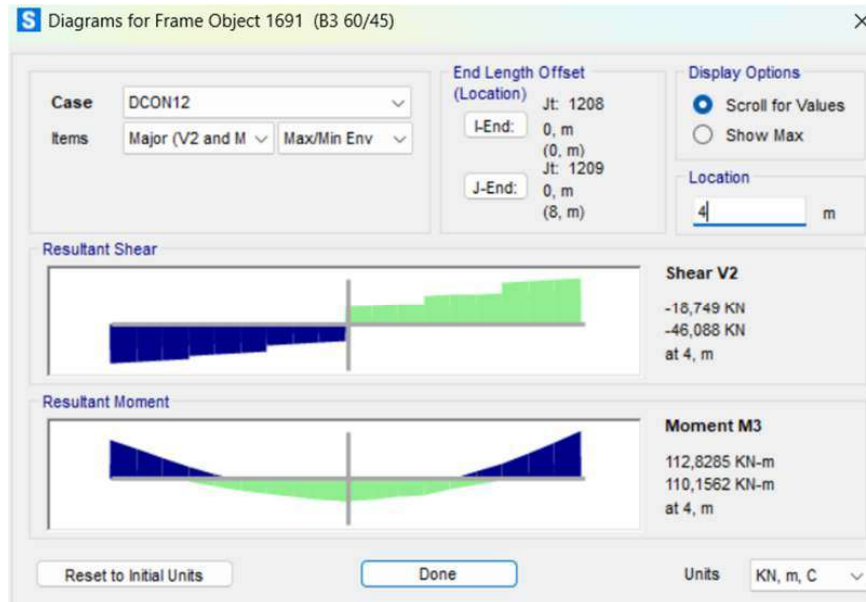
Gambar 4. 21 Output Momen Tumpuan Arah Negatif Balok B3



Gambar 4. 22 Output Momen Tumpuan Arah Positif Balok B3



Gambar 4. 23 Output Momen Lapangan Arah Negatif Balok B3



Gambar 4. 24 Output Momen Lapangan Arah Positif Balok B3

- a. Mencari kebutuhan rasio tulangan dan kebutuhan tulangan pada balok

$$A_{smin} : \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \text{ (SNI 2849-2019 pasal 10.5.1)}$$

$$\rho_{perlu} : \frac{0,85 \times f_{c'} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'}}} \right)}{f_y}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max1} & : 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ & : 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,8357 \times 37,350}{420} \left( \frac{600}{600 + 420} \right) \\ & : 0,022 \end{aligned}$$

$$\rho_{max2} : 0,025 \text{ (SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.1)}$$

- b. Penulangan tumpuan negatif

$$M_u : 279,4766 \text{ KNm}$$

$$M_n : \frac{M_u}{0,9} = \frac{68,445}{0,9} = 310,5296 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{279,4766 \times 10^6}{450 \times 535,5^2} = 2,40642$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,40642}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,005965$$

$$AS_{\text{perlu}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,005965 \times 450 \times 535,5 = 1437,398 \text{ mm}^2$$

$$AS_{\text{min}} : \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} \times b \times d$$

$$: \frac{\sqrt{37,350}}{4 \cdot 420} \times 450 \times 535,5 = 876,6132 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 4D25

$$AS_{\text{pakai}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 4 \times 0,7854 \times 25^2$$

$$: 1963,5 \text{ mm}^2$$

$$a : As \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b)$$

$$: 963,5 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 450)$$

$$: 42,25754 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times f_y \times (d - a/2)$$

$$: 1963,5 \times 420 \times (535,5 - 42,25754/2)$$

$$: 424,1865 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 424,1865 \times 0,9$$

$$: 381,7679 \text{ KNm}$$

$$As_{\text{min}} \leq As_{\text{pakai}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$876,6132 \leq 1963,5 \geq 1437,398 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$381,7679 > 279,4766 \text{ OK}$$

c. Penulangan tumpuan positif

$$Mu : 113,0806 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{113,0806}{0,9} = 125,6451 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{125,6451 \times 10^6}{450 \times 535,5^2} = 0,9736$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,9736}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,002354$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,002354 \times 450 \times 535,5 = 567,486 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{min}}} : \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 450 \times 535,5 = 876,613 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 4D22

$$A_{S_{\text{pakai}}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 4 \times 0,7854 \times 22^2$$

$$: 1520,5344 \text{ mm}^2$$

$$a : A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b)$$

$$: 1520,5344 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 450)$$

$$: 16,683 \text{ mm}$$

$$Mn : A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$: 1520,5344 \times 420 \times (535,5 - 16,683 / 2)$$

$$: 336,656 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 336,656 \times 0,9$$

$$: 302,990 \text{ KNm}$$

$$A_{S_{\text{min}}} \leq A_{S_{\text{pakai}}} \geq A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$876,613 \leq 1520,5344 \geq 567,486 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$302,990 > 113,0806 \text{ OK}$$

d. Penulangan lapangan negatif

$$Mu : 108,6164 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{108,6164}{0,9} = 120,684 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{120,684 \times 10^6}{450 \times 535,5^2} = 0,9352$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,9352}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00226$$

$$A_{S\text{perlu}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,00226 \times 450 \times 535,5 = 544,737 \text{ mm}^2$$

$$A_{S\text{min}} : \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 450 \times 535,5 = 876,613 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D22

$$A_{S\text{pakai}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 3 \times 0,7854 \times 22^2$$

$$: 1140,4008 \text{ mm}^2$$

$$a : A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b)$$

$$: 1140,4008 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 400)$$

$$: 16,014 \text{ mm}$$

$$Mn : A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$: 1140,4008 \times 420 \times (535,5 - 16,014/2)$$

$$: 252,652 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 252,652 \times 0,9$$

$$: 227,3870 \text{ KNm}$$

$$A_{S\text{min}} \leq A_{S\text{pakai}} \geq A_{S\text{perlu}}$$

$$876,613 \leq 1140,4008 \geq 544,737 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$227,3870 > 108,6164 \text{ OK}$$

e. Penulangan lapangan positif

$$Mu : 112,8285 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{112,8285}{0,9} = 125,365 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{125,365 \times 10^6}{450 \times 535,5^2} = 0,9715$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,9715}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00234$$

$$A_{S\text{perlu}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,00234 \times 450 \times 535,5 = 566,200 \text{ mm}^2$$

$$A_{S\text{min}} : \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 450 \times 535,5 = 876,613 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D22

$$A_{S\text{pakai}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 3 \times 0,7854 \times 22^2$$

$$: 1140,4008 \text{ mm}^2$$

$$a : A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b)$$

$$: 1140,4008 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 400)$$

$$: 16,645 \text{ mm}$$

$$Mn : A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$: 1140,4008 \times 420 \times (534,5 - 70,048/2)$$

$$: 252,5012 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 252,501 \times 0,9$$

$$: 227,2510 \text{ KNm}$$

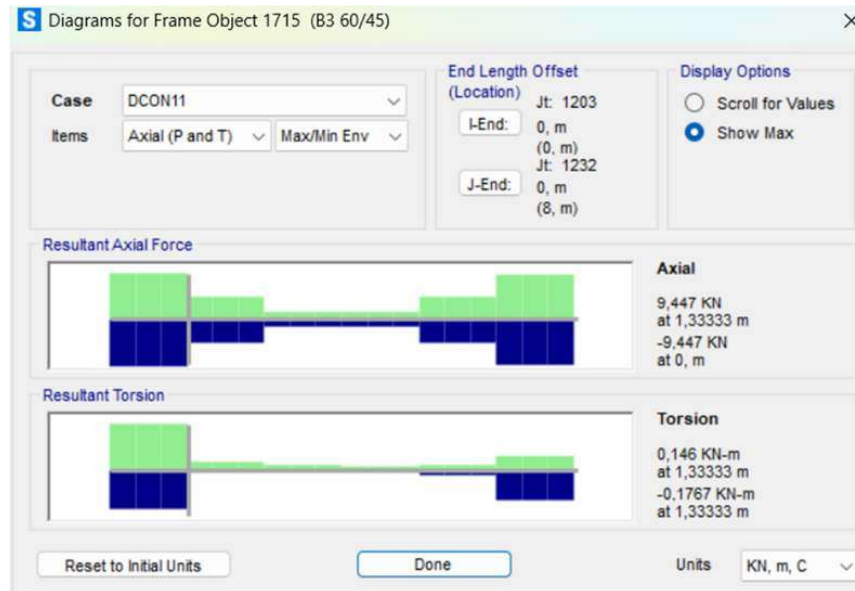
$$A_{S\text{min}} \leq A_{S\text{pakai}} \geq A_{S\text{perlu}}$$

$$876,613 \leq 1140,4008 \geq 566,200 \text{ OK}$$

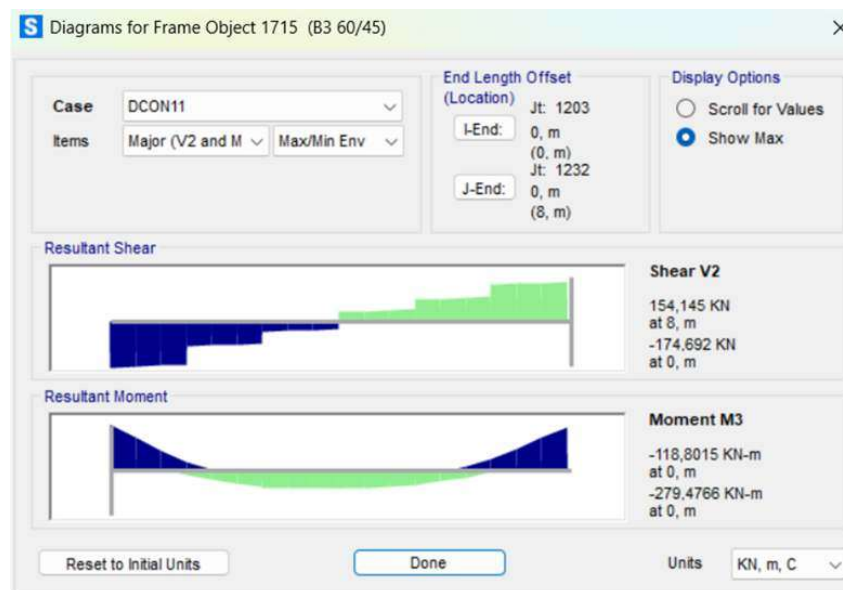
$$\phi Mn > Mu$$

$$227,2510 > 112,8285 \text{ OK}$$

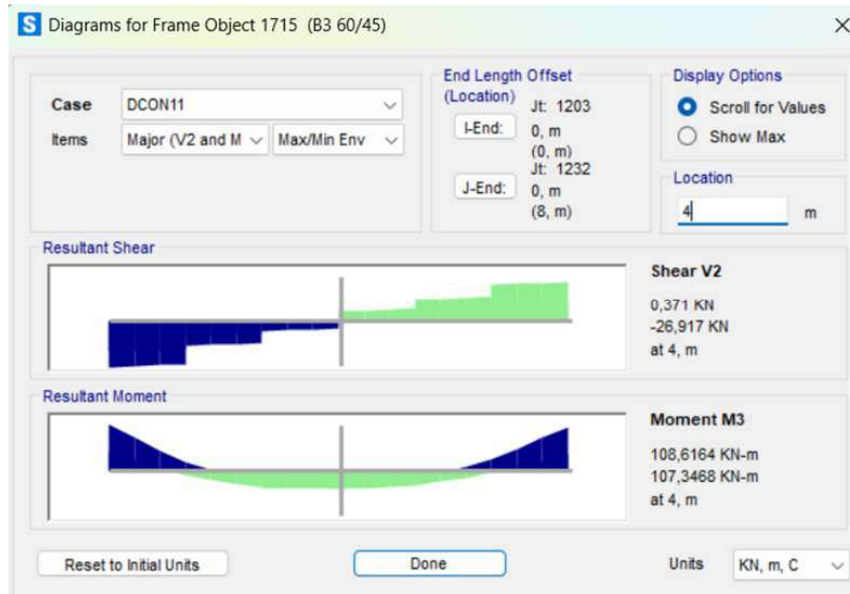
## 2. Penulangan geser balok B3



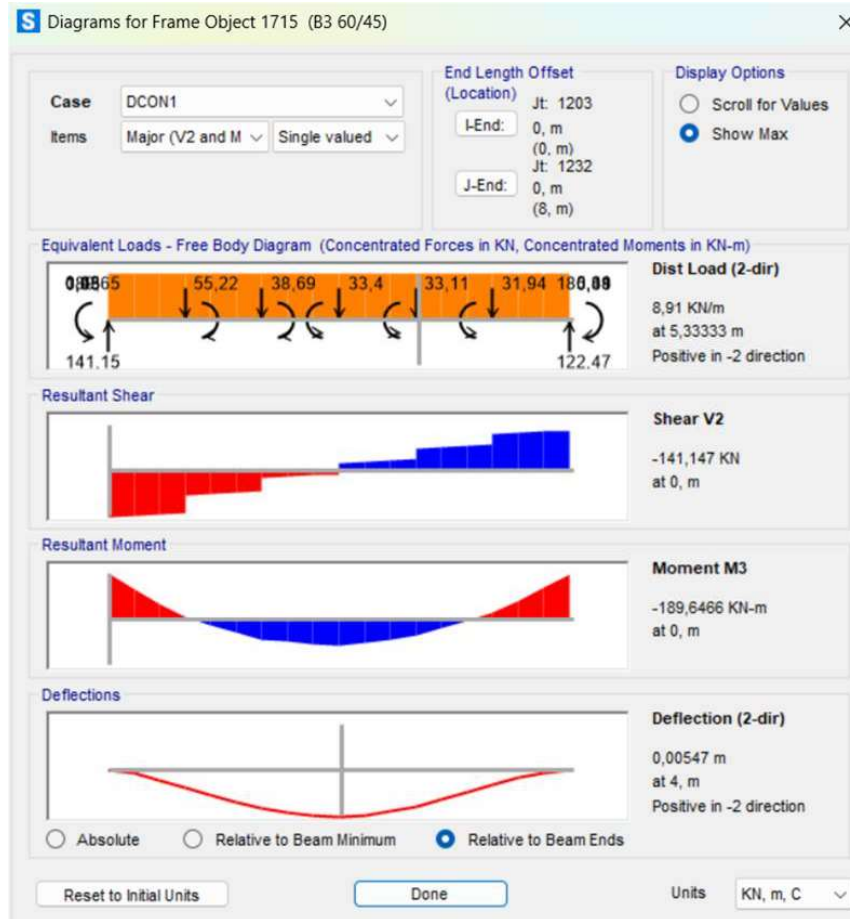
Gambar 4. 25 Output Gaya Aksial Balok B3



Gambar 4. 26 Output Gaya Geser Tumpuan Balok B3



Gambar 4. 27 Output Gaya Geser Lapangan Balok B3



Gambar 4. 28 Output Gaya Geser Desain 1,2 D + 1,6 L Tumpuan Balok B3

#### 1. Gaya geser pada balok

Dari gambar diatas dapat diambil kesimpulan bahwa gaya geser yang terjadi pada balok B1 adalah sebagai berikut:

$V_u$  tumpuan : 154,145 KN

$V_u$  lapangan : 26,917 KN

$V_g$  tumpuan : 14,1147 KN

$P_u$  : 9,447 KN

#### 2. Menghitung gaya desain tumpuan

$$a_{pr(+)} : \frac{1,25 \times A_s(+)}{0,85 \times f_{c'} \times b} \times f_y = \frac{1,25 \times 113,0806 \times 420}{0,85 \times 37,350 \times 450} = 4,155$$

mm

$$a_{pr(-)} : \frac{1,25 \times A_s(-)}{0,85 \times f_{c'} \times b} \times f_y = \frac{1,25 \times 279,4766 \times 420}{0,85 \times 37,350 \times 450} = 10,27$$

mm

$$\begin{aligned} M_{pr+} &: A_s^+ \times (1,25 f_y) \times (d - a_{pr+}/2) \\ &: 113,0806 \times (1,25 \times 420) \times (535,5 - 4,155 / 2) \\ &: 31667846,15 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr-} &: A_s^- \times (1,25 f_y) \times (d - a_{pr-}/2) \\ &: 279,4766 \times (1,25 \times 420) \times (535,5 - 10,27 / 2) \\ &: 77817897,37 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{pr} &: (M_{pr+} + M_{pr-}) / L_n \\ &: (31667846,15 + 77817897,37) / 8000 \\ &: 13685,718 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_e &: V_g + V_{pr} \\ &: 14,1147 + 13685,718 \\ &: 154832,718 \end{aligned}$$

### 3. Menghitung tahanan geser beton

$$\begin{aligned} 0,5 \times V_e &: 77416,359 \text{ N} \\ P_u &: 9447 \text{ N} \\ A_g f_{c'} / 20 &: 450 \times 600 \times 37,350 / 20 \\ &: 504225 \text{ N} \end{aligned}$$

Jika  $V_{pr} \geq 1,2 V_e$  dan  $P_u < A_g \times f_{c'} / 20$ , maka  $V_c$  diperhitungkan

$$\begin{aligned} V_c &: 0,17 \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d \\ &: 0,17 \times \sqrt{37,350} \times 450 \times 535,5 \\ &: 250360,732 \text{ N} \end{aligned}$$

### 4. Penulangan geser tumpuan

Dicoba menggunakan tulangan geser 2 kaki D13-100

$$\begin{aligned} A_v &: n \times \pi/4 \times d_s^2 \\ &: 2 \times 0,7854 \times 13^2 = 265,465 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{pakai} &: 100 \text{ mm} \\
 S_{\max 1} &: d / 4 \\
 &: 337,5 / 4 = 133,875 \text{ mm} \\
 S_{\max 2} &: 150 \text{ mm} \\
 V_s &: A_v \times f_{yv} \times d / s \\
 &: 265,465 \times 420 \times 535,5 / 100 \\
 &: 597056,385 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s &: 0,66 \times (f_c')^{0,5} \times b \times d \\
 &: 0,66 \times (37,350)^{0,5} \times 450 \times 535,5 \\
 &: 971988,726 \text{ N} \\
 V_n &: V_c + V_s \\
 &: 250360,732 + 597056,385 \\
 &: 847417,117 \text{ N} \\
 V_u = V_e &: 154832,718 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u &: 0,75 \times 847417,117 / 154832,718 \\
 &: 4,105
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n / V_u \geq 1 \quad \text{OK}$$

##### 5. Penulangan geser lapangan

Asumsi jumlah kaki = 2 kaki

$$\begin{aligned}
 A_v &: n \times \pi / 4 \times d_s^2 \\
 &: 2 \times 0,7854 \times 13^2 = 265,465 \text{ mm}^2 \\
 S_{pakai} &: 120 \text{ mm} \\
 S_{\max} &: d / 2 \\
 &: 535,5 / 2 = 267,75 \\
 V_s &: A_v \times f_{yv} \times d / s \\
 &: 265,465 \times 420 \times 535,5 / 100 \\
 &: 34702,857 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s &: 0,66 \times (f_c')^{0,5} \times b \times d \\
 &: 0,66 \times (37,350)^{0,5} \times 450 \times 535,5 \\
 &: 971988,726 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &: V_c + V_s \\
 &: 250360,732 + 34702,857 \\
 &: 285063,589 \text{ N} \\
 V_u &: 26917 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u &: 0,75 \times 285063,589 / 26917 \\
 &: 7,943
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n / V_u \geq 1 \quad \text{OK}$$

6. Pengecekan tulangan lentur berdasarkan *output*  $A_s$  dan aplikasi *SAP2000*

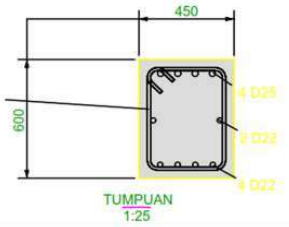
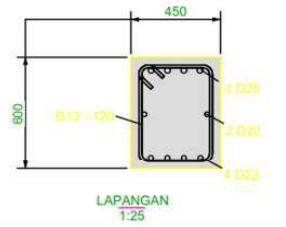
Berdasarkan hasil analisis aplikasi *SAP2000* diperoleh  $A_{s\text{perlu}}$  tiap tumpuan:

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} \text{ tumpuan atas} &: 867,31 \quad \text{mm}^2 \\
 A_{s\text{perlu}} \text{ tumpuan bawah} &: 737,34 \text{ mm}^2 \\
 A_{s\text{perlu}} \text{ lapangan atas} &: 832,98 \text{ mm}^2 \\
 A_{s\text{perlu}} \text{ lapangan bawah} &: 851,04 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 18 Perbandingan luas tulangan perlu manual dan *output* *SAP2000*

	$A_{s\text{perlu}}$ SAP2000 (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{min}}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{perlu}}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{pasang}}$ (mm <sup>2</sup> )
Tumpuan Atas	867,31	876,6132	1437,398	1963,5
Tumpuan Bawah	737,34	876,6132	544,737	1520,5344
Lapangan Atas	832,98	876,6132	567,486	1140,4008
Lapangan Bawah	851,04	876,6132	566,200	1140,4008

(Sumber: Hasil Analisa Penulis, 2026)

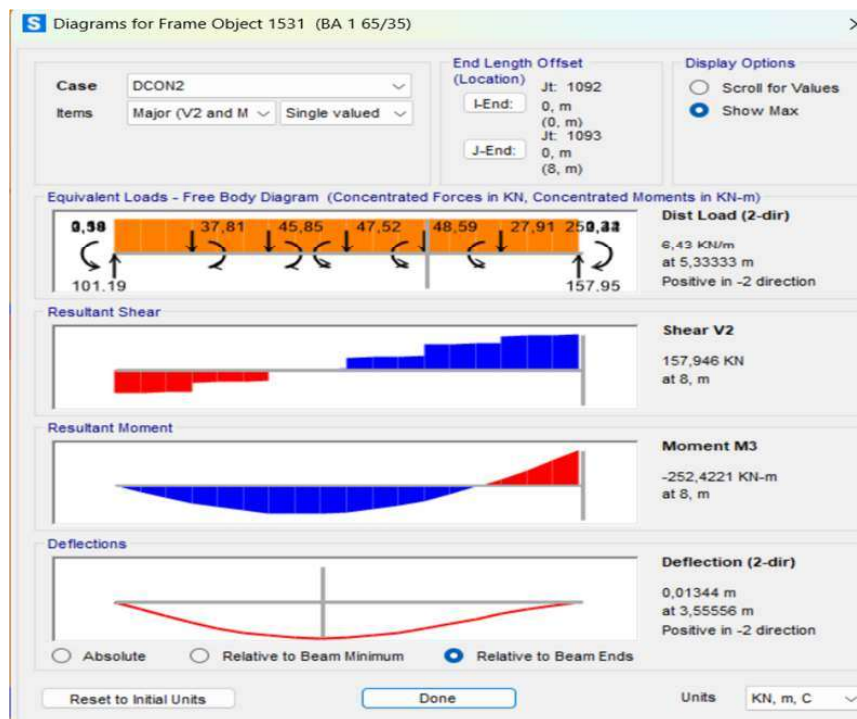
NAMA BALOK	B3	
PELETAKAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI BALOK	600/450	600/450
TULANGAN ATAS	4 D 25	3 D 22
TULANGAN TENGAH	2 D 22	2 D 22
TULANGAN BAWAH	4 D 22	3 D 22
TULANGAN SENGKANG	2 D 13 - 100	2 D 13 - 120
TEBAL SELIMUT	40	40

Gambar 4. 29 Detail Penulangan Balok B3

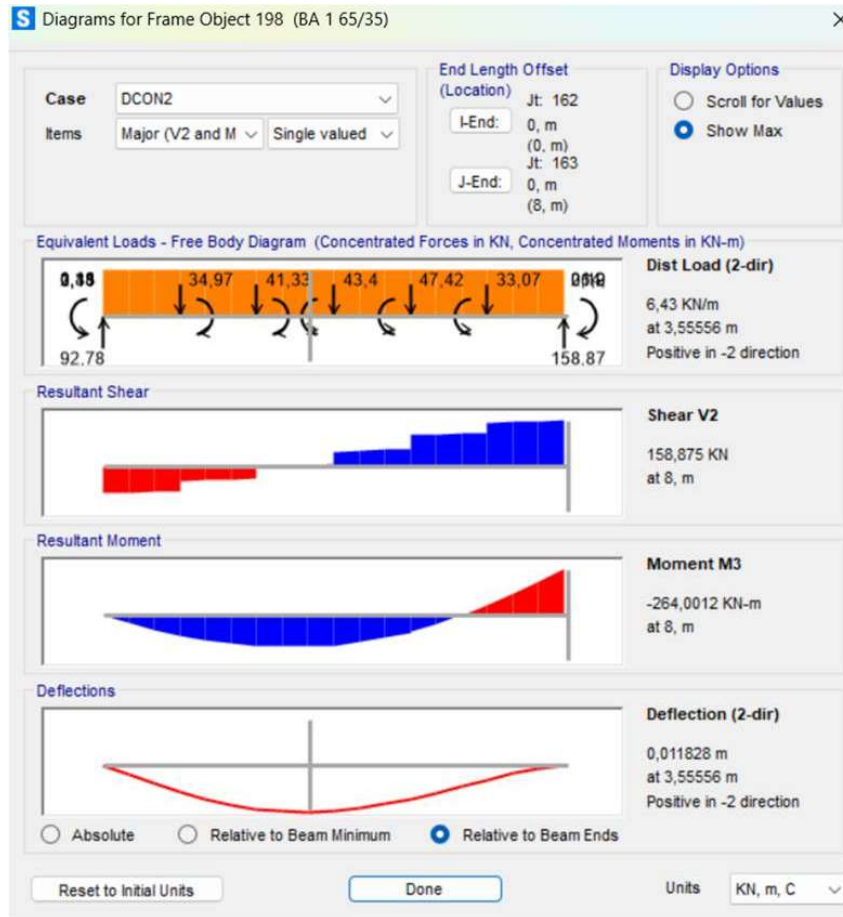
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2026

#### 4.4.4.4 Penulangan Balok BA1

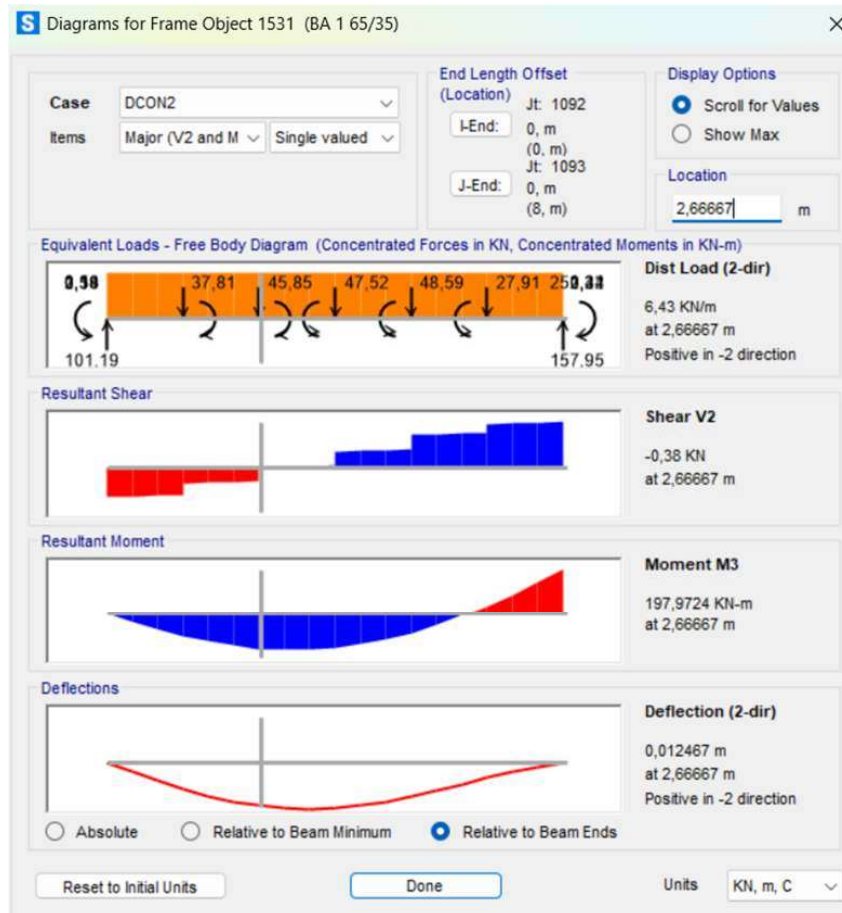
##### 1. Perhitungan tulangan lentur



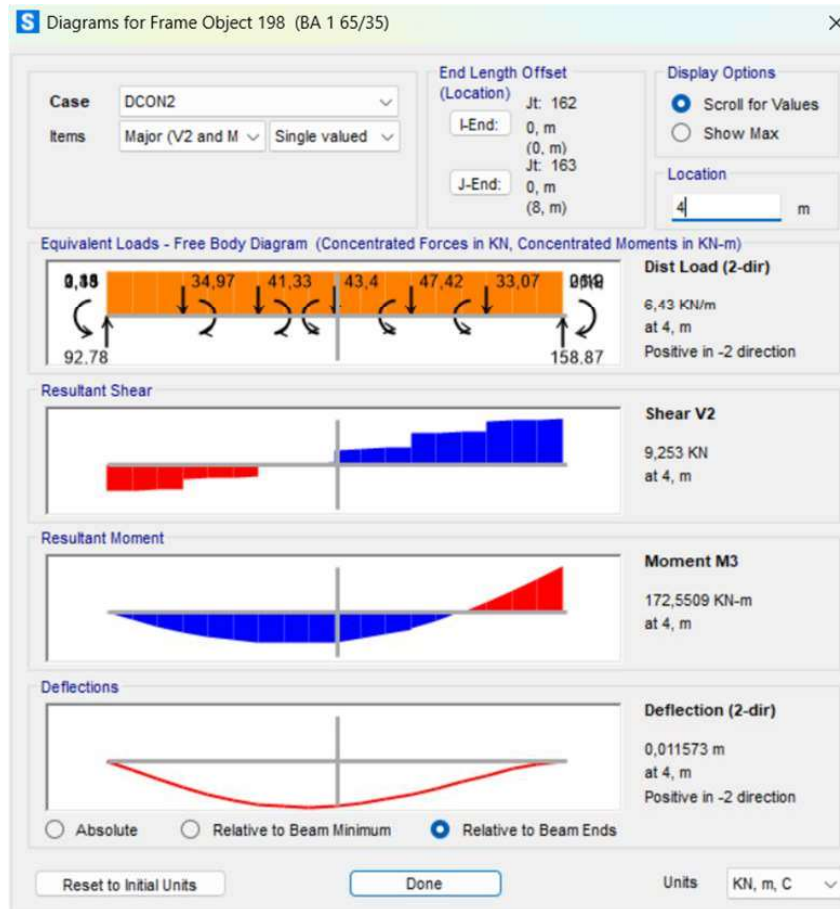
Gambar 4. 30 Output Momen Tumpuan Arah Negatif Balok BA1



Gambar 4. 31 Output Momen Tumpuan Arah Positif Balok BA1



Gambar 4. 32 Output Momen Lapangan Arah Negatif Balok BA1



Gambar 4. 33 Output Momen Lapangan Arah Positif Balok BA1

- a. Mencari kebutuhan rasio tulangan dan kebutuhan tulangan pada balok

$$A_{smin} : \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \text{ (SNI 2849-2019 pasal 10.5.1)}$$

$$\rho_{perlu} : \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$\rho_{max1} : 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$: 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,8357 \times 30}{420} \left( \frac{600}{600 + 420} \right)$$

$$: 0,022$$

$$\rho_{\max 2} : 0,025 \text{ (SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.1)}$$

b. Penulangan tumpuan negatif

$$Mu : 252,4221 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{252,4221}{0,9} = 280,469 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{280,469 \times 10^6}{350 \times 585,5^2} = 2,337$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,337}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00578$$

$$As_{\text{perlu}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,00578 \times 350 \times 585,5 = 1185,932 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{min}} : \frac{1,4}{fy} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 350 \times 585,5 = 745,625 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D25

$$As_{\text{pakai}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 3 \times 0,7854 \times 25^2$$

$$: 1472,625 \text{ mm}^2$$

$$a : As \times fy / (0,85 \times fc' \times b)$$

$$: 1472,625 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 350)$$

$$: 44,826 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times fy \times (d - a/2)$$

$$: 1472,625 \times 420 \times (337,5 - 44,826 / 2)$$

$$: 348,270 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 348,270 \times 0,9$$

$$: 313,443 \text{ KNm}$$

$$As_{\text{min}} \leq As_{\text{pakai}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$745,625 \leq 1472,625 \geq 1185,932 \text{ OK}$$

$$\Phi Mn > Mu$$

$$313,443 > 252,4221 \text{ OK}$$

c. Penulangan tumpuan positif

$$Mu : 264,0012 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{264,0012}{0,9} = 293,334 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{45,967 \times 10^6}{350 \times 585,5^2} = 2,444$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,018}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00606$$

$$As_{\text{perlu}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,005 \times 350 \times 585,5 = 1242,701 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{min}} : \frac{1,4}{fy} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 350 \times 585,5 = 745,471 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D25

$$As_{\text{pakai}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 3 \times 0,7854 \times 25^2$$

$$: 1472,625 \text{ mm}^2$$

$$a : As \times fy / (0,85 \times fc' \times b)$$

$$: 1472,625 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 200)$$

$$: 46,971 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times fy \times (d - a/2)$$

$$: 1472,625 \times 420 \times (337,5 - 46,971 / 2)$$

$$: 347,607 \text{ KNm}$$

$$\Phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 347,607 \times 0,9$$

$$: 312,846 \text{ KNm}$$

$$As_{\text{min}} \leq As_{\text{pakai}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$745,471 \leq 1472,625 \geq 1242,701 \text{ OK}$$

$$\Phi Mn > Mu$$

$$312,846 > 264,0012 \text{ OK}$$

d. Penulangan lapangan negatif

$$Mu : 197,9724 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{197,9724}{0,9} = 219,969 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{45,751 \times 10^6}{350 \times 585,5^2} = 1,833$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,008}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00449$$

$$As_{\text{perlu}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,00449 \times 350 \times 585,5 = 921,947 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{min}} : \frac{1,4}{fy} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 350 \times 585,5 = 745,471 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D22

$$As_{\text{pakai}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 3 \times 0,7854 \times 22^2$$

$$: 1140,4008 \text{ mm}^2$$

$$a : As \times fy / (0,85 \times fc' \times b)$$

$$: 1140,4008 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 350)$$

$$: 34,848 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times fy \times (d - a/2)$$

$$: 1140,4008 \times 420 \times (585,5 - 34,848 / 2)$$

$$: 272,090 \text{ KNm}$$

$$\Phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 272,090 \times 0,9$$

$$: 244,881 \text{ KNm}$$

$$As_{\text{min}} \leq As_{\text{pakai}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$745,471 \leq 1140,4008 \geq 921,947 \text{ OK}$$

$$\Phi Mn > Mu$$

$$244,881 > 197,9724 \text{ OK}$$

e. Penulangan lapangan positif

$$Mu : 172,5509 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{172,5509}{0,9} = 191,723 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{62,122 \times 10^6}{350 \times 585,5^2} = 1,587$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,587}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00390$$

$$As_{\text{perlu}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,00390 \times 350 \times 585,5 = 800,322 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{min}} : \frac{1,4}{fy} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 350 \times 585,5 = 745,471 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D22

$$As_{\text{pakai}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 3 \times 0,7854 \times 22^2$$

$$: 1140,4008 \text{ mm}^2$$

$$a : As \times fy / (0,85 \times fc' \times b)$$

$$: 1140,4008 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 350)$$

$$: 30,250 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times fy \times (d - a/2)$$

$$: 1140,4008 \times 420 \times (585,5 - 30,250 / 2)$$

$$: 273,191 \text{ KNm}$$

$$\Phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 273,191 \times 0,9$$

$$: 245,8722 \text{ KNm}$$

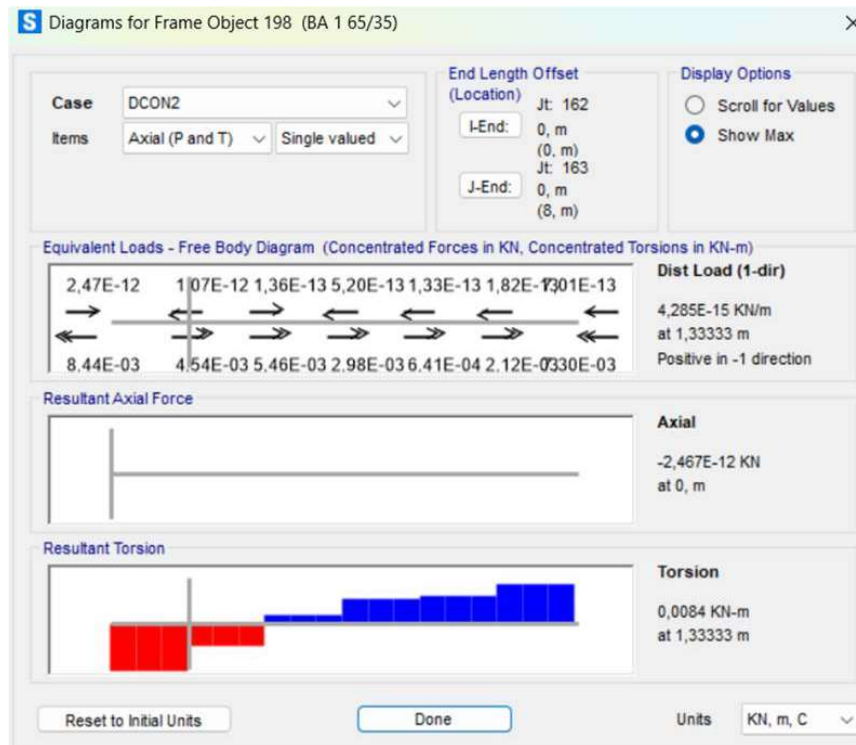
$$As_{\text{min}} \leq As_{\text{pakai}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$745,471 \leq 1140,4008 \geq 800,322 \text{ OK}$$

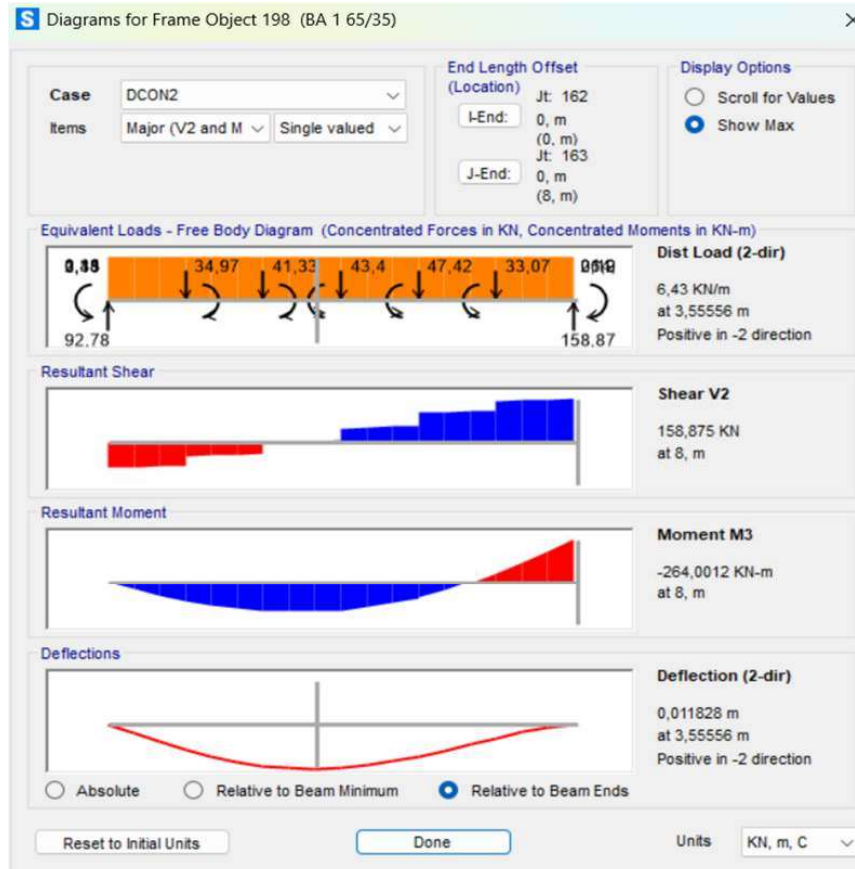
$$\Phi M_n > M_u$$

$$245,8722 > 172,5509 \text{ OK}$$

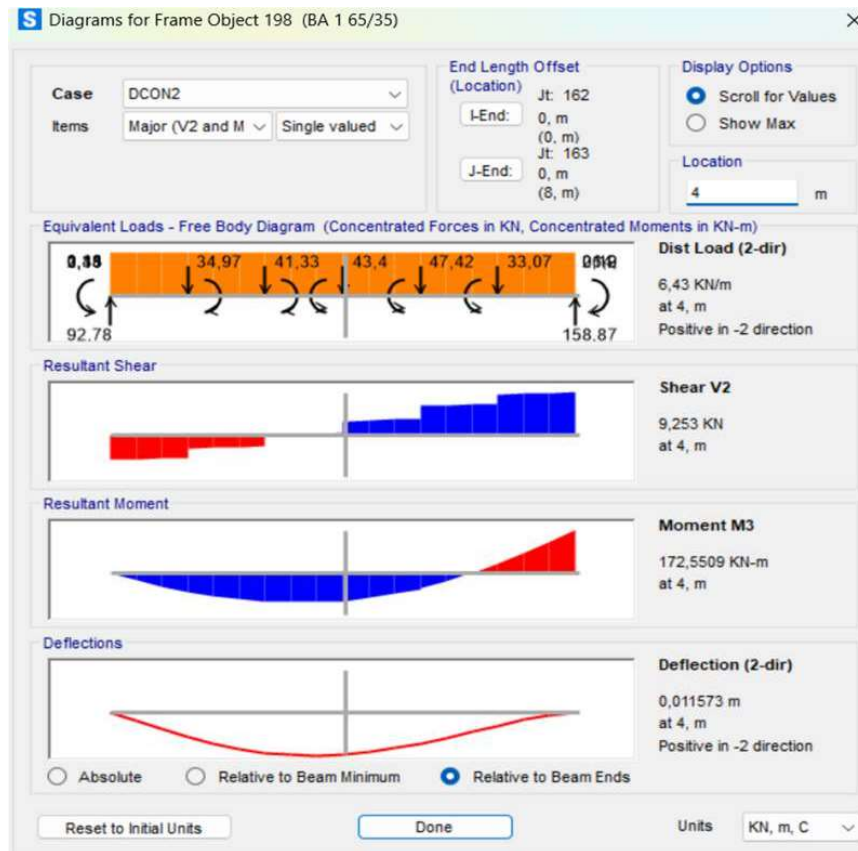
## 2. Penulangan geser balok BA1



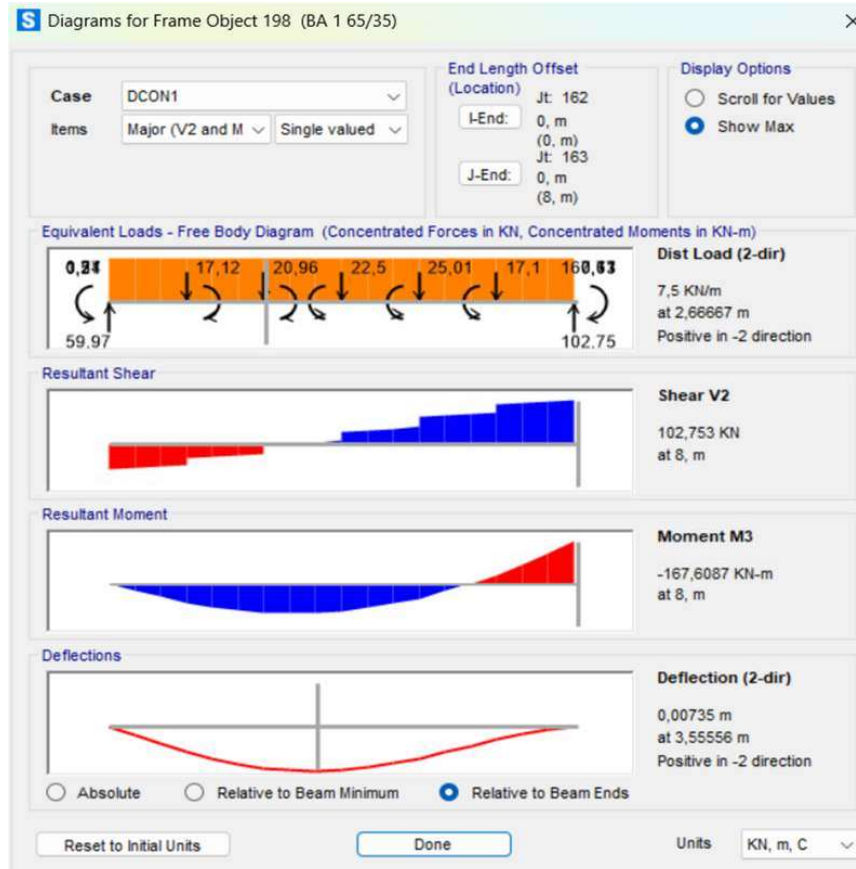
Gambar 4. 34 Output Gaya Aksial Balok BA1



Gambar 4. 35 Output Gaya Geser Tumpuan Balok BA1



Gambar 4. 36 Output Gaya Geser Lapangan Balok BA1



Gambar 4. 37 Output Gaya Geser Desain 1,2 D + 1,6 L Tumpuan Balok BA1

a. Gaya geser pada balok

Dari gambar diatas dapat diambil kesimpulan bahwa gaya geser yang terjadi pada balok B1 adalah sebagai berikut:

$V_u$  tumpuan : 15,8875 KN

$V_u$  lapangan : 9,253 KN

$V_g$  tumpuan : 102,753 KN

$P_u$  : 0 KN

## b. Menghitung gaya desain tumpuan

$$a_{pr(+)} : \frac{1,25 \times A_s(+)}{0,85 \times f_{c'}} \times f_y = \frac{1,25 \times 1472,625 \times 420}{0,85 \times 37,350 \times 350} = 69,578$$

mm

$$a_{pr(-)} : \frac{1,25 \times A_s(-)}{0,85 \times f_{c'}} \times f_y = \frac{1,25 \times 1472,625 \times 420}{0,85 \times 37,350 \times 350} = 69,578$$

mm

$$\begin{aligned} M_{pr+} &: A_s^+ \times (1,25 f_y) \times (d - a_{pr+}/2) \\ &: 69,578 \times (1,25 \times 420) \times (585,5 - 58,374 / 2) \\ &: 42577041,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr-} &: A_s^- \times (1,25 f_y) \times (d - a_{pr-}/2) \\ &: 69,578 \times (1,25 \times 420) \times (585,5 - 87,560 / 2) \\ &: 42577041,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{pr} &: (M_{pr+} + M_{pr-}) / L_n \\ &: (42577041,8 + 42577041,8) / 8000 \\ &: 106442,510 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_e &: V_g + V_{pr} \\ &: 102753 + 106442,510 \\ &: 209195,510 \text{ N} \end{aligned}$$

## c. Menghitung tahanan geser beton

$$0,5 \times V_e : 104597,755 \text{ N}$$

$$P_u : 0 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} A_g f_{c'} / 20 &: 350 \times 650 \times 37,350 / 20 \\ &: 424856,25 \text{ N} \end{aligned}$$

Jika  $V_{pr} \geq 1,2 V_e$  dan  $P_u < A_g \times f_{c'} / 20$ , maka  $V_c$  diperhitungkan

$$\begin{aligned} V_c &: 0,17 \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d \\ &: 0,17 \times \sqrt{37,350} \times 350 \times 585,5 \\ &: 212906,621 \text{ N} \end{aligned}$$

## d. Penulangan geser tumpuan

Dicoba menggunakan tulangan geser 2 kaki D13-100

$$A_v : n \times \pi/4 \times d_s^2$$

$$\begin{aligned}
 & : 2 \times 0,7854 \times 13^2 = 265,465 \text{ mm}^2 \\
 S_{pakai} & : 100 \text{ mm} \\
 S_{max1} & : d / 4 \\
 & : 585,5 / 4 = 146,375 \text{ mm} \\
 S_{max2} & : 150 \text{ mm} \\
 V_s & : A_v \times f_{yv} \times d / s \\
 & : 265,465 \times 420 \times 337,5 / 100 \\
 & : 652803,947 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s & : 0,66 \times (f_c')^{0,5} \times b \times d \\
 & : 0,66 \times (37,350)^{0,5} \times 350 \times 585,5 \\
 & : 826578,648 \text{ N} \\
 V_n & : V_c + V_s \\
 & : 212906,621 + 652803,947 \\
 & : 865710,568 \text{ N} \\
 V_u = V_e & : 209195,510 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u & : 0,75 \times 865710,568 / 209195,510 \\
 & : 3,103
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n / V_u \geq 1 \quad \underline{\text{OK}}$$

e. Penulangan geser lapangan

Asumsi jumlah kaki = 2 kaki

$$\begin{aligned}
 A_v & : n \times \pi / 4 \times d_s^2 \\
 & : 2 \times 0,7854 \times 13^2 = 265,465 \text{ mm}^2 \\
 S_{pakai} & : 120 \text{ mm} \\
 S_{max} & : d / 2 \\
 & : 585,5 / 2 = 292,75 \\
 V_s & : A_v \times f_{yv} \times d / s \\
 & : 265,465 \times 420 \times 585,5 / 120 \\
 & : 34702,857 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s & : 0,66 \times (f_c')^{0,5} \times b \times d \\
 & : 0,66 \times (37,350)^{0,5} \times 350 \times 585,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & : 8265778,648 \text{ N} \\
 V_n & : V_c + V_s \\
 & : 212906,621 + 34702,857 \\
 & : 247609,478 \text{ N} \\
 V_u & : 9253 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u & : 0,75 \times 247609,478 / 9253 \\
 & : 20,069
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n / V_u \geq 1 \quad \text{OK}$$

f. Pengecekan tulangan lentur berdasarkan *output*  $A_s$  dan aplikasi *SAP2000*

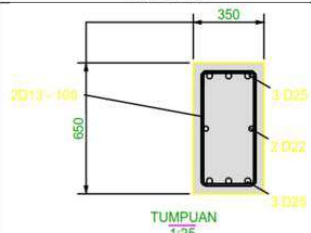
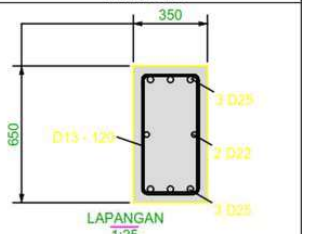
Berdasarkan hasil analisis aplikasi *SAP2000* diperoleh  $A_{s\text{perlu}}$  tiap tumpuan:

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} \text{ tumpuan atas} & : 1180,36 \text{ mm}^2 \\
 A_{s\text{perlu}} \text{ tumpuan bawah} & : 2117,81 \text{ mm}^2 \\
 A_{s\text{perlu}} \text{ lapangan atas} & : 912,379 \text{ mm}^2 \\
 A_{s\text{perlu}} \text{ lapangan bawah} & : 793,327 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 19 Perbandingan luas tulangan perlu manual dan *output* *SAP2000*

	$A_{s\text{perlu}}$ SAP2000 (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{min}}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{perlu}}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{pasang}}$ (mm <sup>2</sup> )
Tumpuan Atas	1180,36	745,625	1185,932	1472,625
Tumpuan Bawah	2117,81	745,625	1242,701	1472,625
Lapangan Atas	912,379	745,625	921,947	1140,4008
Lapangan Bawah	793,327	745,625	800,322	1140,4008

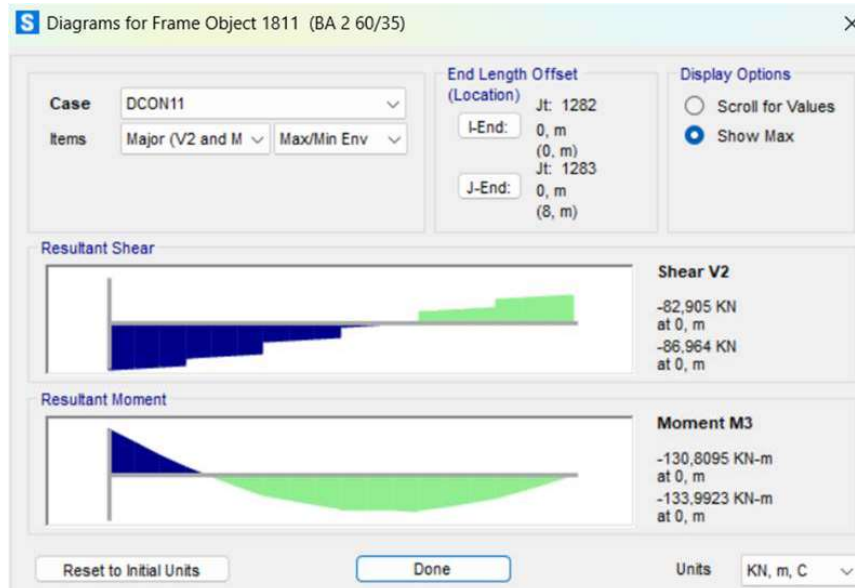
(Sumber: Hasil Analisa Penulis, 2026)

NAMA BALOK	BA1	
PELETAKAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI BALOK	650/350	650/350
TULANGAN ATAS	3 D 25	3 D 22
TULANGAN TENGAH	2 D 22	2 D 22
TULANGAN BAWAH	3 D 25	3 D 22
TULANGAN SENGKANG	2 D 13 - 100	2 D 13 - 120
TEBAL SELIMUT	40	40

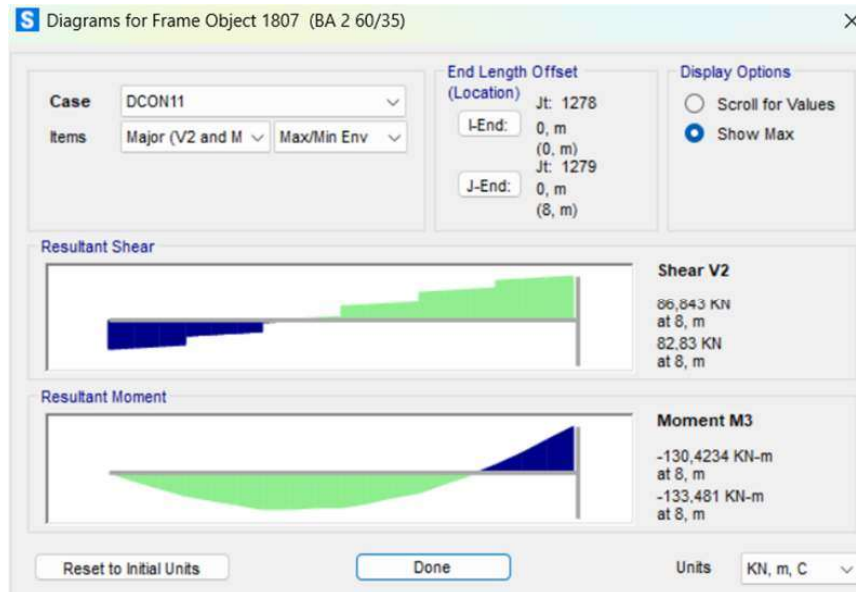
Gambar 4. 38 Detail Penulangan Balok BA1

#### 4.4.4.5 Penulangan Balok BA2

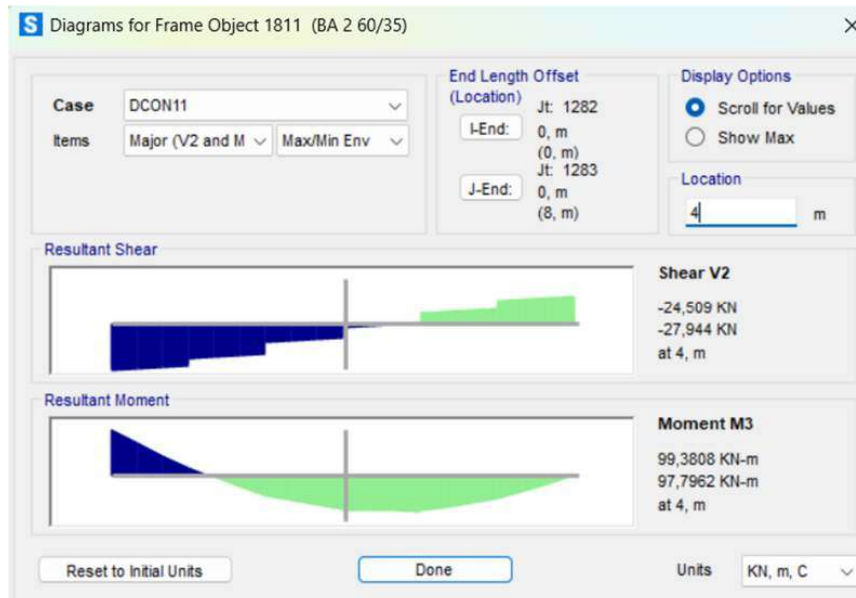
##### 1. Perhitungan tulangan lentur



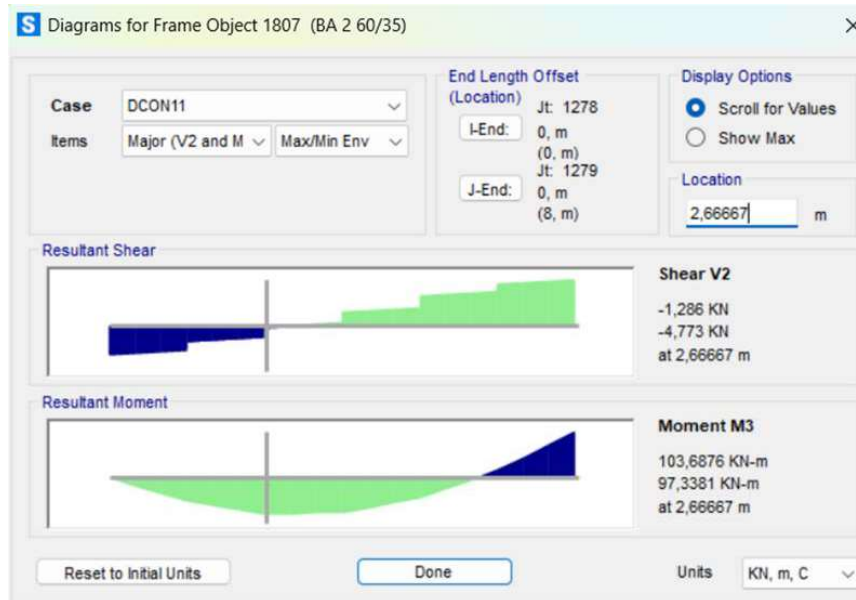
Gambar 4. 39 Output Momen Tumpuan Arah Negatif Balok BA1



Gambar 4. 40 Output Momen Tumpuan Arah Positif Balok BA1



Gambar 4. 41 Output Momen Lapangan Arah Negatif Balok BA1



Gambar 4. 42 Output Momen Lapangan Arah Positif Balok BA1

- a. Mencari kebutuhan rasio tulangan dan kebutuhan tulangan pada balok

$$A_{smin} : \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \text{ (SNI 2849-2019 pasal 10.5.1)}$$

$$\rho_{perlu} : \frac{0,85 \times f_{c'} }{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'}}} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho_{max1} & : 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'} }{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ & : 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,8357 \times 37,350}{420} \left( \frac{600}{600 + 420} \right) \\ & : 0,022 \end{aligned}$$

$$\rho_{max2} : 0,025 \text{ (SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.1)}$$

- b. Penulangan tumpuan negatif

$$M_u : 133,9923 \text{ KNm}$$

$$M_n : \frac{M_u}{0,9} = \frac{133,9923}{0,9} = 148,880 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{148,880 \times 10^6}{350 \times 535,5^2} = 1,483$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,483}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00361$$

$$AS_{\text{perlu}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,009 \times 350 \times 535,5 = 678,187 \text{ mm}^2$$

$$AS_{\text{min}} : \frac{1,4}{fy} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 350 \times 535,5 = 681,810 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D22

$$AS_{\text{pakai}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 3 \times 0,7854 \times 22^2$$

$$: 1140,4008 \text{ mm}^2$$

$$a : As \times fy / (0,85 \times fc' \times b)$$

$$: 1140,4008 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 350)$$

$$: 25,634 \text{ mm}$$

$$Mn : As \times fy \times (d - a/2)$$

$$: 1140,4008 \times 420 \times (535,5 - 25,634 / 2)$$

$$: 250,348 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 250,348 \times 0,9$$

$$: 225,3136 \text{ KNm}$$

$$As_{\text{min}} \leq As_{\text{pakai}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$681,810 \leq 1140,4008 \geq 678,187 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$225,3136 > 133,9923 \text{ OK}$$

c. Penulangan tumpuan positif

$$Mu : 133,481 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{133,481}{0,9} = 148,312 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{148,312 \times 10^6}{350 \times 535,5^2} = 1,477$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,477}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00360$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,00360 \times 350 \times 535,5 = 675,534 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{min}}} : \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 350 \times 535,5 = 681,810 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D22

$$A_{S_{\text{pakai}}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 3 \times 0,7854 \times 22^2$$

$$: 1140,4008 \text{ mm}^2$$

$$a : A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b)$$

$$: 1140,4008 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 350)$$

$$: 25,534 \text{ mm}$$

$$Mn : A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$: 1140,4008 \times 420 \times (535,5 - 46,699 / 3)$$

$$: 250,372 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 250,372 \times 0,9$$

$$: 225,335 \text{ KNm}$$

$$A_{S_{\text{min}}} \leq A_{S_{\text{pakai}}} \geq A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$681,810 \leq 1140,4008 \geq 675,534 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$225,335 > 133,481 \text{ OK}$$

d. Penulangan lapangan negatif

$$Mu : 99,3808 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{41,176}{0,9} = 110,423 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{99,3808 \times 10^6}{350 \times 535,5^2} = 1,100$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,008}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00266$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,00266 \times 350 \times 535,5 = 499,781 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{min}}} : \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 350 \times 535,5 = 681,810 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D22

$$A_{S_{\text{pakai}}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 3 \times 0,7854 \times 22^2$$

$$: 1140,4008 \text{ mm}^2$$

$$a : A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b)$$

$$: 1140,4008 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 350)$$

$$: 18,890 \text{ mm}$$

$$Mn : A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$: 1140,4008 \times 420 \times (535,5 - 18,890 / 2)$$

$$: 251,963 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 74,819 \times 0,9$$

$$: 226,7671 \text{ KNm}$$

$$A_{S_{\text{min}}} \leq A_{S_{\text{pakai}}} \geq A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$681,810 \leq 1140,4008 \geq 499,781 \text{ OK}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$226,7671 > 99,3808 \text{ OK}$$

e. Penulangan lapangan positif

$$Mu : 103,6878 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{0,9} = \frac{103,6878}{0,9} = 115,208 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{115,208 \times 10^6}{350 \times 535,5^2} = 1,147$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2.727}{0,85 \times 37,350}} \right)$$

$$: 0,00278$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} : \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$: 0,005 \times 350 \times 535,5 = 521,854 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{min}}} : \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$: \frac{1,4}{420} \times 350 \times 535,5 = 681,810 \text{ mm}^2$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D22

$$A_{S_{\text{pakai}}} : n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$: 3 \times 0,7854 \times 22^2$$

$$: 1140,4008 \text{ mm}^2$$

$$a : A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b)$$

$$: 1140,4008 \times 420 / (0,85 \times 37,350 \times 350)$$

$$: 19,725 \text{ mm}$$

$$Mn : A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$: 1140,4008 \times 420 \times (535,5 - 70,048/2)$$

$$: 251,764 \text{ KNm}$$

$$\phi Mn : Mn \times \phi$$

$$: 108,058 \times 0,9$$

$$: 226,5873 \text{ KNm}$$

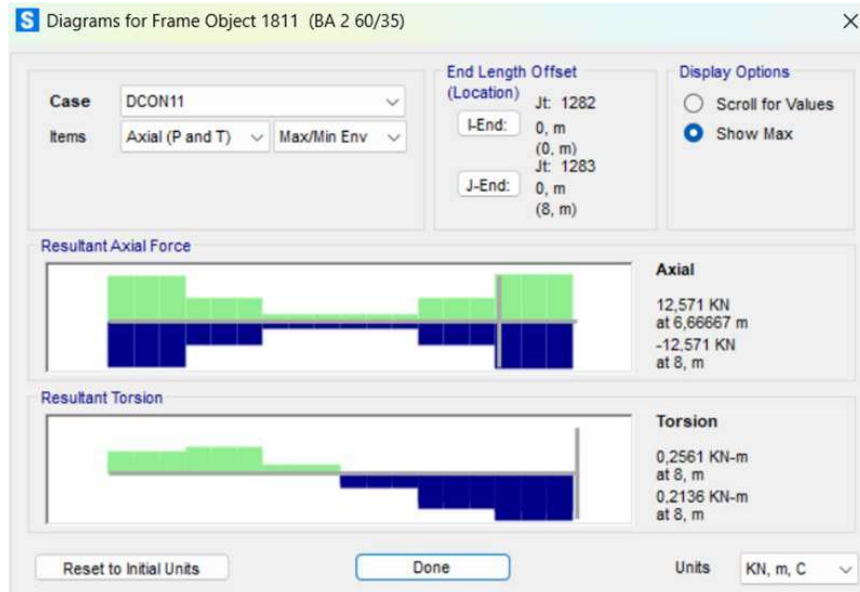
$$A_{S_{\text{min}}} \leq A_{S_{\text{pakai}}} \geq A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$681,810 \leq 1140,4008 \geq 521,854 \text{ OK}$$

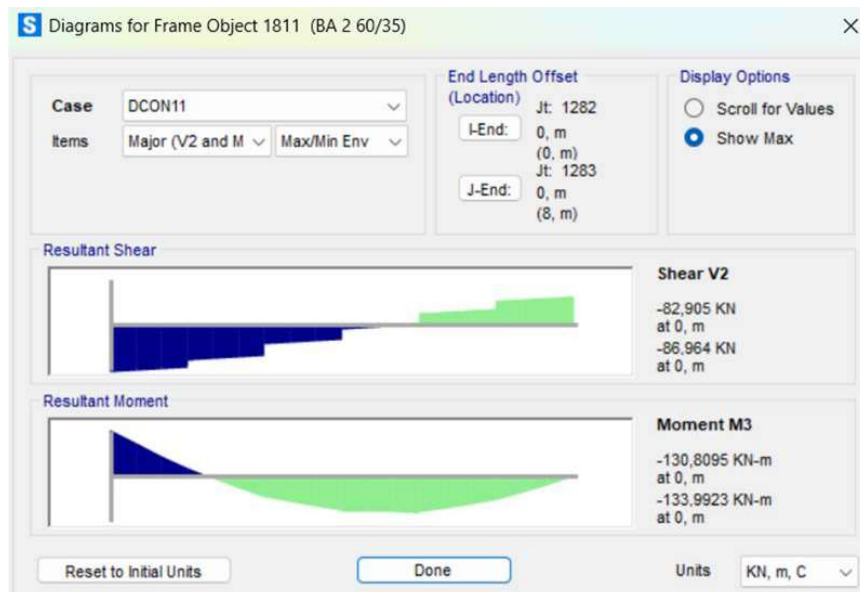
$$\phi Mn > Mu$$

$$226,5873 > 103,6878 \text{ OK}$$

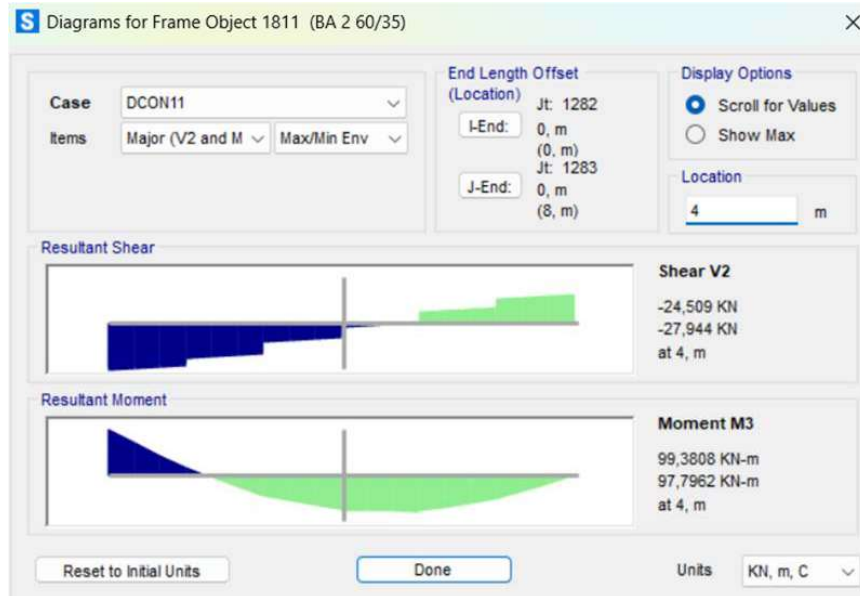
## 2. Penulangan geser balok B3



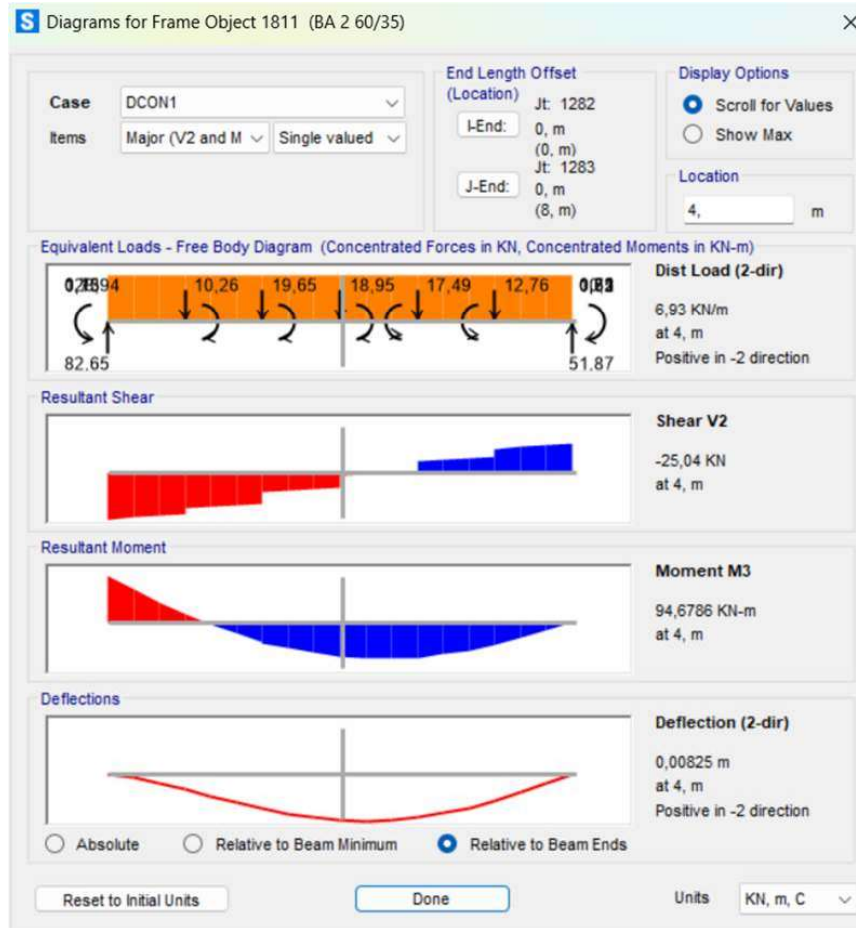
Gambar 4. 43 Output Gaya Aksial Balok BA2



Gambar 4. 44 Output Gaya Geser Tumpuan Balok BA2



Gambar 4. 45 Output Gaya Geser Lapangan Balok BA2



Gambar 4. 46 Output Gaya Geser Desain 1,2 D + 1,6 L Tumpuan Balok BA2

a. Gaya geser pada balok

Dari gambar diatas dapat diambil kesimpulan bahwa gaya geser yang terjadi pada balok B1 adalah sebagai berikut:

$V_u$  tumpuan : 86,964 KN

$V_u$  lapangan : 27,944 KN

$V_g$  tumpuan : 25,04 KN

$P_u$  : 12,571 KN

b. Menghitung gaya desain tumpuan

$$a_{pr(+)} : \frac{1,25 \times A_s(+)}{0,85 \times f_c'} \times f_y = \frac{1,25 \times 1140,4008 \times 420}{0,85 \times 37,350 \times 350} = 53,881$$

mm

$$a_{pr(-)} : \frac{1,25 \times A_s(-)}{0,85 \times f_c'} \times f_y = \frac{1,25 \times 1140,4008 \times 420}{0,85 \times 37,350 \times 350} = 53,881$$

mm

$$\begin{aligned} M_{pr+} &: A_s^+ \times (1,25 f_y) \times (d - a_{pr+}/2) \\ &: 1140,4008 \times (1,25 \times 420) \times (535,5 - 53,881 / 2) \\ &: 304479738,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr-} &: A_s^- \times (1,25 f_y) \times (d - a_{pr-}/2) \\ &: 1140,4008 \times (1,25 \times 420) \times (535,5 - 53,881 / 2) \\ &: 304479738,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{pr} &: (M_{pr+} + M_{pr-}) / L_n \\ &: (304479738,4 + 304479738,4) / 8000 \\ &: 76119,934 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_e &: V_g + V_{pr} \\ &: 2504 + 76119,934 \\ &: 78623,934 \text{ N} \end{aligned}$$

## c. Menghitung tahanan geser beton

$$\begin{aligned} 0,5 \times V_e &: 39311,967 \text{ N} \\ P_u &: 12571 \text{ N} \\ A_g f_c' / 20 &: 350 \times 600 \times 37,350 / 20 \\ &: 392175 \text{ N} \end{aligned}$$

Jika  $V_{pr} \geq 1,2 V_e$  dan  $P_u < A_g \times f_c' / 20$ , maka  $V_c$  diperhitungkan

$$\begin{aligned} V_c &: 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &: 0,17 \times \sqrt{37,350} \times 350 \times 535,5 \\ &: 194725,014 \text{ N} \end{aligned}$$

## d. Penulangan geser tumpuan

Dicoba menggunakan tulangan geser 2 kaki D13-100

$$\begin{aligned} A_v &: n \times \pi/4 \times d_s^2 \\ &: 2 \times 0,7854 \times 13^2 = 265,465 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{pakai} &: 100 \text{ mm} \\
 S_{\max 1} &: d / 4 \\
 &: 535,5 / 4 = 133,875 \text{ mm} \\
 S_{\max 2} &: 150 \text{ mm} \\
 V_s &: A_v \times f_{yv} \times d / s \\
 &: 265,465 \times 420 \times 535,5 / 100 \\
 &: 597056,385 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s &: 0,66 \times (f_c')^{0,5} \times b \times d \\
 &: 0,66 \times (37,350)^{0,5} \times 350 \times 535,5 \\
 &: 755911,231 \text{ N} \\
 V_n &: V_c + V_s \\
 &: 194725,014 + 755911,231 \\
 &: 791781,399 \text{ N} \\
 V_u = V_e &: 78623,934 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u &: 0,75 \times 791781,399 / 78623,934 \\
 &: 7,552
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n / V_u \geq 1 \quad \text{OK}$$

e. Penulangan geser lapangan

Asumsi jumlah kaki = 2 kaki

$$\begin{aligned}
 A_v &: n \times \pi / 4 \times d_s^2 \\
 &: 2 \times 0,7854 \times 13^2 = 265,465 \text{ mm}^2 \\
 S_{pakai} &: 120 \text{ mm} \\
 S_{\max} &: d / 2 \\
 &: 535,5 / 2 = 267,75 \\
 V_s &: A_v \times f_{yv} \times d / s \\
 &: 265,465 \times 420 \times 535,5 / 120 \\
 &: 34702,857 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s &: 0,66 \times (f_c')^{0,5} \times b \times d \\
 &: 0,66 \times (37,350)^{0,5} \times 350 \times 535,5 \\
 &: 755991,231 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &: V_c + V_s \\
 &: 194725,014 + 34702,857 \\
 &: 229427,871 \text{ N} \\
 V_u &: 27944 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u &: 0,75 \times 229427,871 / 27944 \\
 &: 6,157
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n / V_u \geq 1 \quad \text{OK}$$

f. Pengecekan tulangan lentur berdasarkan *output*  $A_s$  dan aplikasi *SAP2000*

Berdasarkan hasil analisis aplikasi *SAP2000* diperoleh  $A_{s\text{perlu}}$  tiap tumpuan:

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} \text{ tumpuan atas} &: 712,34 \quad \text{mm}^2 \\
 A_{s\text{perlu}} \text{ tumpuan bawah} &: 697,31 \text{ mm}^2 \\
 A_{s\text{perlu}} \text{ lapangan atas} &: 612,901 \text{ mm}^2 \\
 A_{s\text{perlu}} \text{ lapangan bawah} &: 539,821 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 20 Perbandingan luas tulangan perlu manual dan *output* *SAP2000*

	$A_{s\text{perlu}}$ SAP2000 (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{min}}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{perlu}}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s\text{pasang}}$ (mm <sup>2</sup> )
Tumpuan Atas	712,34	681,810	678,187	1140,4008
Tumpuan Bawah	697,31	681,810	675,534	1140,4008
Lapangan Atas	612,901	681,810	499,781	1140,4008
Lapangan Bawah	539,821	681,810	521,854	1140,4008

(Sumber: Hasil Analisa Penulis, 2026)

### Rekapitulasi Desain Tulangan Balok

Setelah melakukan perhitungan penulangan lentur dan penulangan geser, dilakukan perbandingan antara hasil perhitungan manual dengan hasil *output* dari aplikasi *SAP2000*. Terdapat sedikit perbedaan antara  $A_s$  minimum dan  $A_s$  perlu antara keduanya, sehingga peninjauan untuk  $A_s$  terpasangnya dipakai nilai terbesar antara keduanya. Dan berikut merupakan rekapitulasi hasil analisis perhitungan tulangan lentur dan tulangan geser dari balok.

Tabel 4. 21 Rekapitulasi penulangan balok

Kesimpulan	B1	B2	B3	BA1	BA2
Tulangan Longitudinal					
Tumpuan Atas	8D29	6D29	4D25	3D25	3D22
Tumpuan Bawah	5D25	6D25	4D22	3D25	3D22
Lapangan Atas	3D25	3D22	3D22	3D22	3D22
Lapangan Bawah	4D25	4D22	3D22	3D22	3D22
Tulangan Pinggang	2D25	2D22	2D22	2D22	2D22
Tulangan Transversal					
Sengkang Tumpuan	2D13-80	2D13-80	2D13-100	2D13-100	2D13-100
Sengkang Lapangan	2D13-100	2D13-100	2D13-120	2D13-120	2D13-120

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2026

NAMA BALOK	B1		B2		B3	
PELETAKAN	TUMPUHAN	LAPANGAN	TUMPUHAN	LAPANGAN	TUMPUHAN	LAPANGAN
POTONGAN						
DIMENSI BALOK	700/800	700/800	700/800	700/800	600/650	600/650
TULANGAN ATAS	8 Ø 29	3 Ø 25	6 Ø 29	3 Ø 22	4 Ø 25	3 Ø 22
TULANGAN TENGAH	2 Ø 25	2 Ø 25	2 Ø 22	2 Ø 22	2 Ø 22	2 Ø 22
TULANGAN BAWAH	3 Ø 25	4 Ø 25	6 Ø 25	4 Ø 22	4 Ø 22	3 Ø 22
TULANGAN SENGKANG	2 Ø 11 - 80	2 Ø 11 - 100	2 Ø 11 - 80	2 Ø 11 - 100	2 Ø 11 - 100	2 Ø 11 - 100
TEBAL SELIMUT	40	40	40	40	40	40
NAMA BALOK	BA1		BA2			
PELETAKAN	TUMPUHAN	LAPANGAN	TUMPUHAN	LAPANGAN		
POTONGAN						
DIMENSI BALOK	600/350	600/350	600/350	600/350		
TULANGAN ATAS	3 Ø 25	3 Ø 22	3 Ø 22	3 Ø 22		
TULANGAN TENGAH	2 Ø 25	2 Ø 22	2 Ø 22	2 Ø 22		
TULANGAN BAWAH	3 Ø 25	3 Ø 22	3 Ø 22	3 Ø 22		
TULANGAN SENGKANG	2 Ø 11 - 100	2 Ø 11 - 100	2 Ø 11 - 100	2 Ø 11 - 100		
TEBAL SELIMUT	40	40	40	40		

Gambar 4. 47 Detail Balok  
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2026

#### 4.4.5 Perhitungan Tulangan Kolom

##### 4.4.5.1 Perencanaan Tulangan Kolom K1

Berikut adalah perhitungan kolom K1 menggunakan metode perencanaan SRPMK.

##### 1. Data perencanaan

Tipe kolom	: K1
Tinggi kolom, L	: 5500 mm
Sisi Pendek Kolom, b	: 1000 mm
Sisi Panjang Kolom, h	: 1000 mm
Diameter Tulangan Longitudinal, db	: 29 mm
Diameter Tulangan Sengkang, ds	: 13 mm
Selimit Bersih, cc	: 40 mm
Kuat Tekan Beton, $f_c'$	: 37,350 MPa
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, $f_y$	: 420 MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal, $f_{yv}$	: 420 MPa
Tinggi Balok Tertumpu, hb	: 700 mm
Tinggi bersih, Ln	: 4800 mm

##### 2. Analisis kolom

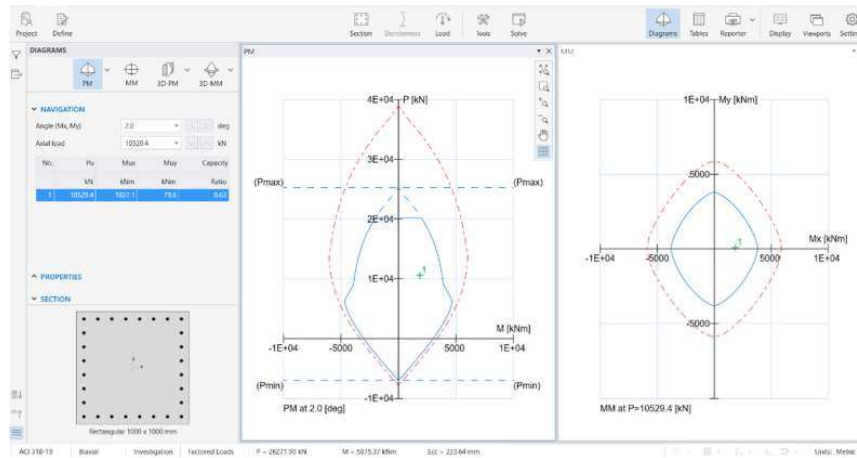
*Output SAP2000* gaya yang bekerja pada kolom K1

Gaya aksial : 10529,439 KN

Momen M3 : 1857,1296 KNm  
 Momen M2 : 79,6276 KNm  
 Shear V3 : 15,15 KN  
 Shear V2 : 328,549 KN

### 3. Penulangan longitudinal kolom

Dalam analisis menggunakan aplikasi *spColumn* Kolom K1 dengan dimensi 1000×1000 dan menggunakan tulangan 28D29 didapatkan rasio tulangan sebesar  $1,85\% = 0,0185$



Gambar 4. 48 Diagram Interaksi Kolom K1 dengan aplikasi *spColumn*

Sumber: Hasil Analisis Penulis

### 4. Cek persyaratan rasio tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.4.1 rasio luas tulangan tidak boleh kurang dari  $0,01 A_g$  atau lebih dari  $0,06 A_g$ .

$$0,01 A_g = 0,01 \times 1 \times 1 = 0,01$$

$$0,06 A_g = 0,06 \times 1 \times 1 = 0,06$$

$$0,0389 A_g = 0,0389 \times 1 \times 1 = 0,0185$$

$$0,01 < 0,06 < 0,0185 \text{ OK}$$

### 5. Pengecekan syarat *strong column weak beam*

- Berdasarkan SNI SNI 2847-2019 pasal 18.7.3.2 kekuatan kolom harus memenuhi  $\Sigma M_{nc} > 1,2\Sigma M_{nb}$
- Nilai  $M_{nb}$  diambil dari nilai momen pada ujung balok yang tertumpu oleh kolom K1
- Sedangkan untuk nilai  $\Sigma M_{nc}$  didapat dari nilai interaksi kolom P-M oleh aplikasi *spColumn*

No.	Demand			Capacity			Parameters at Capacity	
	Pu	Mux	Muz	$\phi P_n$	$\phi M_{nx}$	$\phi M_{ny}$	NA Depth	ct
	kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm	mm	
1	10529.44	1857.13	79.63	14819.92	3278.40	140.57	829	0.00055

Gambar 4. 49 Hasil diagram interaksi kolom K1

Sumber: Hasil Analisa Pribadi, 2026

Tabel 4. 22 Hasil diagram interaksi kolom K1

$\phi M_{nx}$ (KNm)	$\phi M_{ny}$ (KNm)	$\phi$ (KNm)	$M_{nx}$ (KNm)	$M_{ny}$ (KNm)
3278,40	140,57	0,650	1857,1296	79,6276

(Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2026)

Dari diagram P-M *spColumn* pada  $P_u = 10529,439$  kN dan sudut  $2^\circ$  diperoleh

$$M_{nc} = 13550,94 \text{ KNm}$$

Dari hasil  $M_{nx}$  dan  $M_{ny}$  diperoleh  $\Sigma M_{nc}$ ,

$$\Sigma M_{nc} = 2 \times 13550,94 = 27101,88 \text{ KNm}$$

$$\Sigma M_{nc} > 1,2\Sigma M_{nb} = 27101,88 \text{ KNm} > 3072,70 \text{ KNm} \text{ OK}$$

## 6. Perhitungan desain tulangan transversal

Dicoba menggunakan tulangan transversal 5 kaki D13 dengan nilai  $A_{sh} = 663,5 \text{ mm}^2$

## a. Cek luas penampang kolom

$$\text{Lebar Penampang Inti Beton, } bc \quad : b - 2c_c \quad : 907 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Penampang Kolom, } Ag \quad : b \times h \quad : 1.000.000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas Penampang Inti Beton, } Ach \quad : b_c \times h_c \quad : 822.649 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{sh/s \text{ min, } 1} & : 0,3 (bc \times fc' / fyv) \times (Ag / Ach - 1) \\ & : 0,3 (907 \times 37,350 / 420) \times (1.000.000 / 822.649 - 1) \\ & : 5,22 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh/s \text{ min, } 2} & : 0,09 \times bc \times fc' / fyv \\ & : 0,09 \times 907 \times 37,350 / 420 \\ & : 7,26 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

Diambil nilai yang terbesar yaitu  $7,26 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

## b. Cek jarak spasi maksimum

$$S_o \quad : 80 + (350 - hx) / 3$$

$$: 80 + (350 - 120) / 3 = 156,67 \text{ mm S}$$

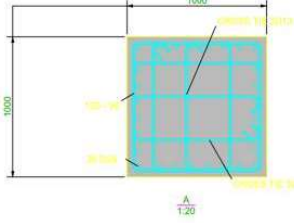
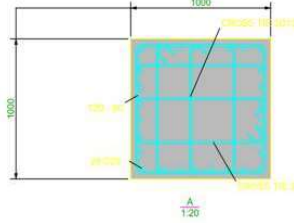
So Max : 150 mm di pakai So : 150 mm

Dipakai nilai  $S_{\min} = 80 \text{ mm} < S_o : 150$

$$A_{sh/s \text{ min}} : 7,26 \times 80 = 580,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh/s \text{ min}} < A_{sh \text{ pakai}} = 580,8 \text{ mm}^2 < 663,5 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Pada daerah tumpuan dipakai tulangan transversal 5 D13-80, dan untuk didaerah lapangan dipakai tulangan transversal 5 D13-120.

NAMA KOLOM	K1	
	PELETAKAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI KOLOM	1000 X 1000	1000 X 1000
TULANGAN UTAMA	28 D 29	28 D 29
TULANGAN SENGKANG	2 D 13 - 80	2 D 13 - 120
CROSS TIE	3 D 13 - 80	3 D 13 - 120
TEBAL SELIMUT BETON	40	40

Gambar 4. 50 Gambar Detail Penulangan Kolom K1  
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2026

#### 4.4.5.2 Perencanaan Tulangan Kolom K2

Berikut adalah perhitungan kolom K1 menggunakan metode perencanaan SRPMK.

##### 1. Data perencanaan

Tipe kolom	: K2
Tinggi kolom, L	: 5000 mm
Sisi Pendek Kolom, b	: 8000 mm
Sisi Panjang Kolom, h	: 800 mm
Diameter Tulangan Longitudinal, db	: 25 mm
Diameter Tulangan Sengkang, ds	: 13 mm
Selimut Bersih, cc	: 40 mm
Kuat Tekan Beton, $f_c'$	: 37,350 MPa
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, $f_y$	: 420 MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal, $f_{yv}$	: 420 MPa
Tinggi Balok Tertumpu, hb	: 700 mm
Tinggi bersih, Ln	: 4300 mm

##### 2. Analisis kolom

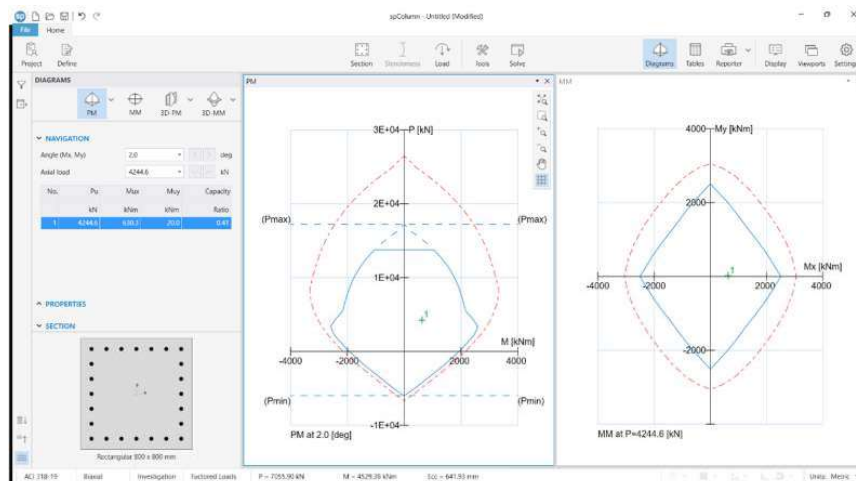
*Output SAP2000* gaya yang bekerja pada kolom K2

Gaya aksial : 4244,616 KN

Momen M3 : 630,3068 KNm  
 Momen M2 : 19,959 KNm  
 Shear V3 : 6,769 KN  
 Shear V2 : 213,106 KN

### 3. Penulangan longitudinal kolom

Dalam analisis menggunakan aplikasi *spColumn* Kolom K2 dengan dimensi 800×800 dan menggunakan tulangan 24D29 didapatkan rasio tulangan sebesar 2,48% = 0,0248



Gambar 4. 51 Diagram Interaksi Kolom K2 dengan aplikasi *spColumn*

Sumber: Hasil Analisis Penulis

### 4. Cek persyaratan rasio tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.4.1 rasio luas tulangan tidak boleh kurang dari  $0,01 A_g$  atau lebih dari  $0,06 A_g$ .

$$0,01 A_g = 0,01 \times 0,80 \times 0,80 = 0,0064$$

$$0,06 A_g = 0,06 \times 0,80 \times 0,80 = 0,0384$$

$$0,0321 A_g = 0,0321 \times 0,80 \times 0,80 = 0,0205$$

$$0,0064 < 0,0384 < 0,0205 \text{ OK}$$

### 5. Pengecekan syarat *strong column weak beam*

a. Berdasarkan SNI SNI 2847-2019 pasal 18.7.3.2 kekuatan kolom harus memenuhi  $\Sigma M_{nc} > 1,2 \Sigma M_{nb}$

- b. Nilai  $Mnb$  diambil dari nilai momen pada ujung balok yang tertumpu oleh kolom K1
- c. Sedangkan untuk nilai  $\Sigma Mnc$  didapat dari nilai interaksi kolom P-M oleh aplikasi *spColumn*

No.	Demand			Capacity			Parameters at Capacity	
	Pu	Mux	Muy	$\phi P_n$	$\phi M_{nx}$	$\phi M_{ny}$	NA Depth	ct
1	4244.62	630.31	19.96	7558.40	2019.40	63.95	533	0.00122

Gambar 4. 52 Hasil diagram interaksi kolom K2

Sumber: Hasil Analisis Pribadi, 2026

Tabel 4. 23 Hasil diagram interaksi kolom K2

$\phi M_{nx}$ (KNm)	$\phi M_{ny}$ (KNm)	$\phi$ (KNm)	$M_{nx}$ (KNm)	$M_{ny}$ (KNm)
2019,40	63,95	0,650	630,31	19,96

(Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2026)

Dari hasil  $M_{nx}$  dan  $M_{ny}$  diperoleh  $\Sigma M_{nc}$ ,

$$M_{nc} = \phi M_{nx} / \phi = 2019,40 / 0,9 = 2244,1$$

$$\Sigma M_{nc} = 2 \times M_{nc} = 2 \times 2244,1 = 4488,2 \text{ KNm}$$

$$\Sigma M_{nc} > 1,2 \Sigma M_{nb} = 4488,2 \text{ KNm} > 3072,70 \text{ KNm} \text{ OK}$$

#### 6. Perhitungan desain tulangan transversal

Dicoba menggunakan tulangan transversal 4 kaki D13 dengan nilai  $A_{sh} = 530,93 \text{ mm}^2$

##### a. Cek luas pampang kolom

$$\text{Lebar Pampang Inti Beton, } bc : b - 2c_c : 694 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Penampang Kolom, } A_g \quad : b \times h \quad : 640000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas Penampang Inti Beton, } A_{ch} \quad : b_c \times h_c \quad : 481636 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{sh/s \text{ min, 1}} & : 0,3 (b_c \times f_c' / f_yv) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\ & : 0,3 (694 \times 37,350 / 420) \times (640000 / 481636 - 1) \\ & : 6,08 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh/s \text{ min, 2}} & : 0,09 \times b_c \times f_c' / f_yv \\ & : 0,09 \times 694 \times 37,350 / 420 \\ & : 5,55 \text{ mm}^2 / \text{mm} \end{aligned}$$

Diambil nilai yang terbesar yaitu:  $9,05 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

b. Cek jarak spasi maksimum

$$\begin{aligned} S_o & : 100 + (350 - 100) / 3 \\ & : 100 + (350 - 100) / 3 = 116,667 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai nilai  $S_{\min} = 80 \text{ mm}$

$$A_{sh/s \text{ min}} : 6,08 \times 80 = 486,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh/s \text{ min}} < A_{sh \text{ pakai}} = 486,4 \text{ mm}^2 < 530,93 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Pada daerah tumpuan dipakai tulangan transversal 4D13-80, dan untuk didaerah lapangan dipakai tulangan transversal 4D13-120.

NAMA KOLOM PELETAKAN	K2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI KOLOM	800 X 800	800 X 800
TULANGAN UTAMA	24 D 29	24 D 29
TULANGAN SENGKANG	2 D 13 - 80	2 D 13 - 120
CROSS TIE	2 D 13 - 80	2 D 13 - 120
TEBAL SELIMUT BETON	40	40

Gambar 4. 53 Gambar Detail Penulangan K2

Sumber: Hasil Analisis Penulis

#### 4.4.5.3 Perencanaan Tulangan Kolom K3

Berikut adalah perhitungan kolom K3 menggunakan metode perencanaan SRPMK.

##### 1. Data perencanaan

Tipe kolom	: K3
Tinggi kolom, L	: 5000 mm
Sisi Pendek Kolom, b	: 700 mm
Sisi Panjang Kolom, h	: 700 mm
Diameter Tulangan Longitudinal, db	: 25 mm
Diameter Tulangan Sengkang, ds	: 13 mm
Selimit Bersih, cc	: 40 mm
Kuat Tekan Beton, $f_c'$	: 37,350 MPa
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, $f_y$	: 420 MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal, $f_{yv}$	: 420 MPa
Tinggi Balok Tertumpu, hb	: 700 mm
Tinggi bersih, Ln	: 4300 mm

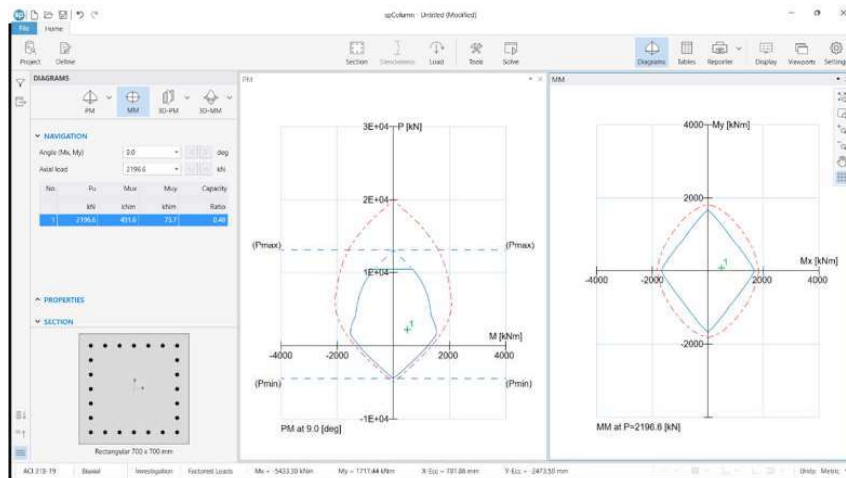
##### 2. Analisis kolom

*Output SAP2000* gaya yang bekerja pada kolom K1

Gaya aksial	: 2196,568 KN
Momen M3	: 491,6422 KNm
Momen M2	: 75,7146KNm
Shear V3	: 27,058 KN
Shear V2	: 175,595 KN

##### 3. Penulangan longitudinal kolom

Dalam analisis menggunakan aplikasi *spColumn* Kolom K3 dengan dimensi 700×700 dan menggunakan tulangan 24D25 didapatkan rasio tulangan sebesar 2,40% = 0,0240



Gambar 4. 54 Diagram Interaksi Kolom K3 dengan aplikasi *spColumn*

Sumber: Hasil Analisis Penulis

#### 4. Cek persyaratan rasio tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.4.1 rasio luas tulangan tidak boleh kurang dari  $0,01 A_g$  atau lebih dari  $0,06 A_g$ .

$$0,01 A_g = 0,01 \times 0,70 \times 0,70 = 0,0049$$

$$0,06 A_g = 0,06 \times 0,70 \times 0,70 = 0,0294$$

$$0,0389 A_g = 0,0389 \times 0,70 \times 0,70 = 0,01906$$

$$0,0049 < 0,0294 < 0,01906 \text{ OK}$$

#### 5. Pengecekan syarat *strong column weak beam*

- a. Berdasarkan SNI SNI 2847-2019 pasal 18.7.3.2 kekuatan kolom harus memenuhi  $\Sigma M_{nc} > 1,2 \Sigma M_{nb}$
- b. Nilai  $M_{nb}$  diambil dari nilai momen pada ujung balok yang tertumpu oleh kolom K3
- c. Sedangkan untuk nilai  $\Sigma M_{nc}$  didapat dari nilai interaksi kolom P-M oleh aplikasi *spColumn*

Demand		Capacity			Parameters at Capacity			Capacity	
$P_u$	$M_{ux}$	$M_{uy}$	$\phi P_n$	$\phi M_{nx}$	$\phi M_{ny}$	NA Depth	$e_t$	$\phi$	Ratio
kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm	mm			
2196,37	491,64	75,71	0,00	1216,13	187,29	192	0,00814	0,900	0,48

Gambar 4. 55 Diagram Interaksi Kolom K3 dengan aplikasi *spColumn*

Sumber: Hasil Analisis Penulis

Tabel 4. 24 Hasil diagram interaksi kolom K3

$\phi M_{nx}$ (KNm)	$\phi M_{ny}$ (KNm)	$\phi$ (KNm)	$M_{nx}$ (KNm)	$M_{ny}$ (KNm)
1216,13	187,29	0,9	491,64	75,71

(Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2026)

Dari hasil  $M_{nx}$  dan  $M_{ny}$  diperoleh  $\Sigma M_{nc}$ ,

$$M_{nc} = \phi M_{nx} / \phi = 1216,13 / 0,9 = 1351,26$$

$$\Sigma M_{nc} = 2 \times M_{nc} = 2 \times 1351,26 = 2702,5 \text{ KNm}$$

$$\Sigma M_{nc} > 1,2 \Sigma M_{nb} = 2702,5 \text{ KNm} > 1237,4 \text{ KNm} \text{ OK}$$

## 6. Perhitungan desain tulangan transversal

Dicoba menggunakan tulangan transversal 4 kaki D13 dengan nilai  $A_{sh} = 530,929 \text{ mm}^2$

## d. Cek luas pemapang kolom

$$\text{Lebar Penampang Inti Beton, } b_c : b - 2c_c : 594 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Penampang Kolom, } A_g : b \times h : 490000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas Penampang Inti Beton, } A_{ch} : b_c \times h_c : 352836 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh}/s_{\min}, 1 : 0,3 (b_c \times f_c' / f_yv) \times (A_g / A_{ch} - 1)$$

$$: 0,3 (594 \times 37,350 / 420) \times (490000 / 352836 - 1)$$

$$: 6,16 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$A_{sh}/s_{\min, 2} : 0,09 \times bc \times fc' / f_{yv}$$

$$: 0,09 \times 594 \times 37,350 / 420$$

$$: 4,75 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

Diambil nilai yang terbesar yaitu :  $6,16 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

e. Cek jarak spasi maksimum

$$S_o : 80 + (350 - h_x) / 3$$

$$: 80 + (350 - 150) / 3 = 146,7 \text{ mm}$$

Dipakai nilai  $S_{\min} = 80 \text{ mm}$

$$A_{sh}/s_{\min} : 6,16 \times 80 = \text{mm}^2$$

$$A_{sh}/s_{\min} < A_{sh \text{ pakai}} = 492,8 \text{ mm}^2 < 530,929 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Pada daerah tumpuan dipakai tulangan transversal 4D13-80, dan untuk didaerah lapangan dipakai tulangan transversal 4D13-120.

NAMA KOLOM PELETAKAN	K3	
	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI KOLOM	700 X 700	700 X 700
TULANGAN UTAMA	24 D 25	24 D 25
TULANGAN SENGGANG	2 D 13 - 80	2 D 13 - 120
CROSS TIE	2 D 13 - 80	2 D 13 - 120
TEBAL SELIMUT BETON	40	40

Gambar 4. 56 Gambar Detail Penulangan K3

Sumber: Hasil Analisis Penulis

### Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tulangan Kolom

Berikut adalah rekapan hasil perhitungan tulangan kolom

Tabel 4. 25 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

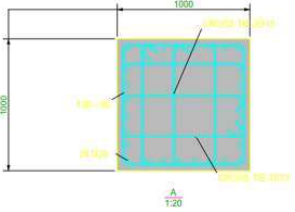
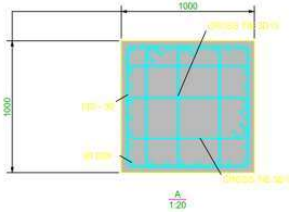
Type	Ukuran	As Terpasang (mm <sup>2</sup> )	Tulangan Dipasang	Rasio Tulangan
K1	1000 × 1000	18494,6	28D29	1,85%
K2	800 × 800	15852,5	24D29	2,48%
K3	700 × 700	11780,9	24D25	2,40%

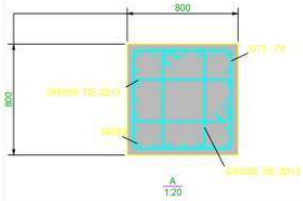
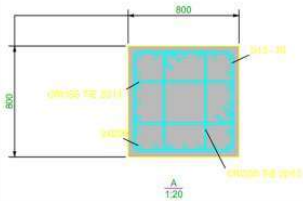
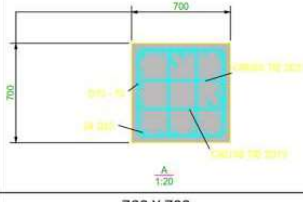
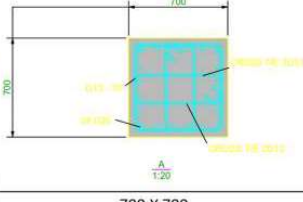
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2023

Tabel 4. 26 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tulangan Transversal Kolom

	K1	K2	K3
Dimensi	1000 × 1000	800 × 800	700 × 700
Sengkang Tumpuan	5 D13-80	4D13-80	4D13-80
Sengkang Lapangan	5 D13-120	4D13-120.	4D13-120.

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2026

NAMA KOLOM PELETAKAN	K1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI KOLOM	1000 X 1000	1000 X 1000
TULANGAN UTAMA	28 D 29	28 D 29
TULANGAN SENKANG	2 D 13 - 80	2 D 13 - 120
CROSS TIE	3 D 13 - 80	3 D 13 - 120
TEBAL SELIMUT BETON	40	40

NAMA KOLOM	K2	
PELETAKAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI KOLOM	800 X 800	800 X 800
TULANGAN UTAMA	24 D 29	24 D 29
TULANGAN SENGKANG	2 D 13 - 80	2 D 13 - 120
CROSS TIE	2 D 13 - 80	2 D 13 - 120
TEBAL SELIMUT BETON	40	40
NAMA KOLOM	K3	
PELETAKAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI KOLOM	700 X 700	700 X 700
TULANGAN UTAMA	24 D 25	24 D 25
TULANGAN SENGKANG	2 D 13 - 80	2 D 13 - 120
CROSS TIE	2 D 13 - 80	2 D 13 - 120
TEBAL SELIMUT BETON	40	40

Gambar 4. 57 Detail Penulangan Kolom  
Sumber: Hasil Analisis Penulis

#### 4.4.6 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

Data perencanaan:

Tipe pelat	: Slab 200
Lx	: 8000 mm
Ly	: 8000 mm
Tebal pelat	: 200 mm
Mutu beton, $f_c'$	: 37,350 MPa
Mutu baja, $f_y$	: 420 Mpa
$\beta_1$	: 0,8357
Diameter tulangan	: 10 mm
Selimut beton	: 20 mm
Tebal efektif, $d'$	: 85 mm

### 1. Penulangan pleat lantai

Analisis struktur penulangan pelat lantai adalah suatu proses untuk memastikan bahwa pelat lantai (*floor slab*) dalam suatu struktur bangunan memiliki kekuatan dan keamanan yang memadai untuk menahan beban momen lentur yang bekerja pada pelat tersebut. Untuk nilai momen sendiri didapatkan dari *output* aplikasi *SAP2000*.

#### a. Momen – momen yang bekerja pada pelat lantai

$$M \text{ Max akibat M11 Max} \quad : 16,8344 \text{ KNm}$$

$$M \text{ Min akibat M11 Min} \quad : -39,2845 \text{ KNm}$$

$$M \text{ Max akibat M22 Max} \quad : 22,6797 \text{ KNm}$$

$$M \text{ Min akibat M22 Min} \quad : -44,0922 \text{ KNm}$$

#### b. Mencari kebutuhan rasio tulangan dan kebutuhan tulangan pada pelat lantai

$$\rho_{min} \quad : 0,0018 \text{ atau } 0,0014 \text{ (SNI 2849-2019 Tabel 7.6.11 dan 8.6.11)}$$

$$\rho_{perlu} \quad : \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$\rho_{max} \quad : 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$: 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,7825 \times 37,450}{420} \times \left( \frac{600}{600 + 420} \right)$$

$$: 0,02615$$

$$\begin{aligned} A_{smin} f_y \geq 420 \text{ Mpa} & \quad : (0,18\% \times 420 / f_y) \times b \times t \text{ dan } 0,14\% \times b \times t \\ & \quad : (0,18\% \times 420 / 420) \times 1000 \times 200 \text{ dan } 0,14\% \times \\ & \quad 1000 \times 200 \\ & \quad : 280 \text{ atau } 360 \text{ mm}^2, \approx A_{smin} 360 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### c. Tulangan lapangan bawah arah X

$$M_u \quad : 16,8344 \text{ KNm}$$

$$M_n \quad : \frac{M_u}{\phi} = \frac{16,8344}{0,9} = 18,7048 \text{ KNm}$$

$$R_n \quad : \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{18,7048 \times 10^6}{1000 \times 153,5^2} = 0,79$$

$$\rho_{perlu} \quad : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,79}{0,85 \times 37,350}} \right) = 0,00191$$

$$A_{sperlu} \quad : 0,00191 \times 1000 \times 153,5 = 292,42 \text{ mm}^2$$

- Jarak antar tulangan (SNI 2847-2019 Pasal 8.7.2.2)

$$S_{\max} : 2 \times t \text{ dan } 450 \text{ mm}$$

$$: 2 \times 200 \text{ dan } 450 \text{ mm} = 400 \text{ mm}$$

- Kebutuhan tulangan pakai

Dipakai tulangan lentur D13-120

$$\text{As Pasang} : n \times \pi/4 \times db^2$$

$$: 8,333 \times \frac{3,14}{4} \times 13^2 = 1106,1 \text{ mm}^2$$

Cek  $AS_{\min} < AS_{\text{pasang}} > AS_{\text{perlu}}$

$$292,42 \text{ mm}^2 > 1106,1 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

d. Tulangan tumpuan atas arah X

$$Mu : 39,2845 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{\phi} = \frac{39,2845}{0,9} = 43,6494 \text{ KNm}$$

$$Rn : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{43,6494 \times 10^6}{1000 \times 153,5^2} = 1,852$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,852}{0,85 \times 37,350}} \right) = 0,00455$$

$$AS_{\text{perlu}} : 0,00455 \times 1000 \times 153,5 = 698,4 \text{ mm}^2$$

- Jarak antar tulangan (SNI 2847-2019 Pasal 8.7.2.2)

$$S_{\max} : 2 \times t \text{ dan } 450 \text{ mm}$$

$$: 2 \times 200 \text{ dan } 450 \text{ mm} = 400 \text{ mm}$$

- Kebutuhan tulangan pakai

Dipakai tulangan lentur D13-80

$$\text{As Pasang} : n \times \pi/4 \times db^2$$

$$: 12,5 \times \frac{3,14}{4} \times 13^2 = 1659,1 \text{ mm}^2$$

Cek  $AS_{\min} < AS_{\text{pasang}} > AS_{\text{perlu}}$

$$1659,1 \text{ mm}^2 > 698,4 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

e. Tulangan lapangan bawah arah Y

$$Mu : 22,6797 \text{ KNm}$$

$$Mn : \frac{Mu}{\phi} = \frac{22,6797}{0,9} = 25,1996 \text{ KNm}$$

$$R_n : \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{25,1996 \times 10^6}{1000 \times 153,5^2} = 1,069$$

$$\rho_{perlu} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,069}{0,85 \times 37,350}} \right) = 0,00259$$

$$A_{Sperlu} : 0,00259 \times 1000 \times 153,5 = 397,6 \text{ mm}^2$$

- Jarak antar tulangan (SNI 2847-2019 Pasal 8.7.2.2)

$$S_{\max} : 2 \times t \text{ dan } 450 \text{ mm}$$

$$: 2 \times 200 \text{ dan } 450 \text{ mm} = 400 \text{ mm}$$

- Kebutuhan tulangan pakai

Dipakai tulangan lentur D13-120

$$\text{As Pasang} : n \times \pi/4 \times db^2$$

$$: 8,333 \times \frac{3,14}{4} \times 13^2 = 1106,1 \text{ mm}^2$$

Cek  $A_{Smin} < A_{Spasang} > A_{Sperlu}$

$$1106,1 \text{ mm}^2 > 397,6 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

f. Tulangan tumpuan atas arah Y

$$M_u : 44,0922 \text{ KNm}$$

$$M_n : \frac{M_u}{\phi} = \frac{44,0922}{0,9} = 48,9913 \text{ KNm}$$

$$R_n : \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{48,9913 \times 10^6}{1000 \times 153,5^2} = 2,097$$

$$\rho_{perlu} : \frac{0,85 \times 37,350}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,097}{0,85 \times 37,350}} \right) = 0,00514$$

$$A_{Sperlu} : 0,00514 \times 1000 \times 153,5 = 789,0 \text{ mm}^2$$

- Jarak antar tulangan (SNI 2847-2019 Pasal 8.7.2.2)

$$S_{\max} : 2 \times t \text{ dan } 450 \text{ mm}$$

$$: 2 \times 200 \text{ dan } 450 \text{ mm} = 400 \text{ mm}$$

- Kebutuhan tulangan pakai

Dipakai tulangan lentur D13-80

$$\text{As Pasang} : n \times \pi/4 \times db^2$$

$$: 12,5 \times \frac{3,14}{4} \times 13^2 = 1659,1 \text{ mm}^2$$

Cek  $A_{Smin} < A_{Spasang} > A_{Sperlu}$

$$1659,1 \text{ mm}^2 > 789,0 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

## 2. Rekapitulasi penulangan plat lantai

Tabel 4. 27 Rekapitulasi Hasil Perhitungan penulangan plat lantai

	Lapangan Bawah (X)	Tumpuan Atas (X)	Lapangan Bawah (Y)	Tumpuan Atas (Y)
Tebal Pelat (mm)	200	200	200	200
Mu (KNm)	16,8344 KNm	39,2845 KNm	22,6797 KNm	44,0922 KNm
As Perlu	292,42 mm <sup>2</sup>	698,4 mm <sup>2</sup>	397,6 mm <sup>2</sup>	789,0 mm <sup>2</sup>
As Pasang	1106,1 mm <sup>2</sup>	1659,1 mm <sup>2</sup>	1106,1 mm <sup>2</sup>	1659,1 mm <sup>2</sup>
Tul. Utama	13D-120	13D-80	13D-120	13D-80

## 4.5 Perhitungan Pondasi

### 4.5.1 Daya Dukung Pondasi Tiang Bor

1. Asumsi kedaaman tiang, 24 meter
2. Diameter tiang bor, 0.8 m
3. Nilai N-SPT dasar tiang, 50
4. Tahanan ujung ultimit,  $q_p = 250 \text{ Kg/cm}^2$  atau  $2500 \text{ ton/m}^2$
5. Luas Penampang Tiang,  $0.503 \text{ m}^2$
6. Keliling Lingkaran, 2,51 m
7. Menghitung daya dukung ujung tiang bor

$$\begin{aligned}
 Q_p &: q_p \times A \\
 &: 250 \times 0,503 \\
 &: 125,75 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

8. Menghitung daya dukung selimut tiang bor

$$Q_s : \sum f_i \times l_i \times p$$

Depth	N-SPT	fs	fs	Tebal (m)	Keliling (m)	Qs (Ton)
		(Kg/m <sup>2</sup> )	(Ton/m <sup>2</sup> )			

2	8	400	0,40	2.0	2,51	2,01
4	12	600	0,60	2.0	2,51	3,01
6	15	750	0,75	2.0	2,51	3,77
8	18	900	0,90	2.0	2,51	4,52
10	22	1100	1,10	2.0	2,51	5,52
12	25	1250	1,25	2.0	2,51	6,28
14	29	1450	1,45	2.0	2,51	7,28
16	32	1600	1,60	2.0	2,51	8,03
18	36	1800	1,80	2.0	2,51	9,04
20	40	2000	2,00	2.0	2,51	10,04
22	45	2250	2,25	2.0	2,51	6,28
24	50	2500	2,50	2.0	2,51	6,28
$\Sigma Q_s$						72.02

(Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2026)

$Q_s$  : 72.02 Ton

9. Menghitung daya dukung ultimit tiang bor

$Q_u : Q_p + Q_s$

: 1257,5 + 72.02

: 1329,52 Ton

10. Menghitung daya dukung ijin tiang bor

$Q_i : Q_u / SF$

: 1329,52 / 3

: 443,17 Ton

#### 4.5.2 Perhitungan Tulangan Pondasi Tiang Bor BP-1

1. Parameter perencanaan

Diameter tiang, D : 800 mm

Selimut bersih, Cc : 120 mm

Diameter tulangan Longitudinal : 29 mm

Diameter tulangan Sengkang : 10 mm

Tebal efektif, d : 657,5 mm

Kuat tekan beton,  $f_c'$  : 37,350 Mpa

Kuat leleh baja,  $f_y$  : 420 Mpa

2. Parameter Penulangan

Jumlah tulangan : 24

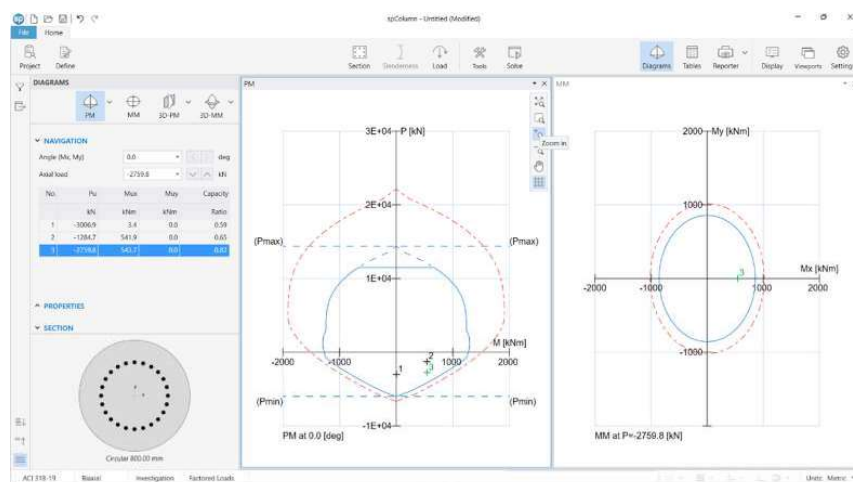
Luas tulangan longitudinal,  $A_s$  : 15.853 mm<sup>2</sup>  
 Luas penampang,  $A_g, \pi/4 \cdot d^2$  : 502.655 mm<sup>2</sup>  
 Rasio tulangan,  $A_s/A_g$  : 3,15 %

### 3. Pengecekan tulangan terhadap gaya dalam akibat aksial lentur

Aksial - Lentur		
Kondisi	P (KN)	M (KN-m)
P max	-12027,615	13,6653
P min	-5138,761	2167,7996
M Max	-11039,272	2174,6886

(Sumber: Output SAP2000)

Berdasarkan hasil dari analisis menggunakan aplikasi *SPColumn*, tulangan 24D29 telah memenuhi persyaratan untuk memikul beban gaya aksial akibat kolom. Dapat dilihat dengan *point* yang ditunjukkan masih berada di dalam interaksi tiang.



Gambar 4. 58 Gambar hasil menggunakan aplikasi *SPColumn*

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2026

### 4. Analisis tulangan transversal

$N_u$  : 5138,761 KN  
 $V_u$  : 391075 N

$$V_c : 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) (f_c')^{0,5} D \cdot d$$

$$: 0,17 \left( 1 + \frac{5138,761}{14 \cdot 502655} \right) 37,350^{0,5} 800 \cdot 712,5$$

$$: 1.023.630 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} : V_u / \phi - V_c$$

$$: 391075 / 0,75 - 1.023.630$$

$$: -502.197 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} : V_s / (f_y v \times d)$$

$$: -502.197 / (420 \times 712,5)$$

$$: -2,9368 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

Dipakai tulangan sengkang pada daerah tumpuan D10-80

Jarak antar tulangan maksimum,  $S_{max} : D / 4$

$$: 800 / 4 = 200 \text{ mm}$$

Cek spesi Spakai  $< S_{max} : 80 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$  OK

Untuk tulangan sengkang pada daerah lapangan digunakan D10-120

## 4.6 Perhitungan Kapasitas Kelompok dan Efisiensi Tiang

### 4.6.1 PileCap PC-1

#### 1. Data rencana:

Diameter <i>bored pile</i>	: 800 mm
Jarak as tiang ke ujung pile cap	: 800 mm
$b_{kolom}$	: 1000 mm
$h_{kolom}$	: 1000 mm
Asumsi tebal <i>poer</i>	: 1400 mm
Diameter tulangan utama	: 29 mm
Tebal efektif, $d'$	: 1236,5 mm

#### 2. Gaya yang bekerja pada *pilecap*

Dari *output* SAP2000 diperoleh gaya yang bekerja pada join ? adalah:

P	: 12027,615 KN	/ 1225,03 Ton.m
$M_x$	: 238,5064 KNm	/ 24,30 Ton.m
$M_y$	: 2174,6886 KNm	/ 221,68 Ton.m

#### 3. Berat *pilecap*

L : 4 m  
 B : 4 m  
 d : 1,4 m  
 Luas, A : 8 m<sup>2</sup>  
 Berat : 53,76 Ton  
 Pu : 1279,06 Ton

#### 4. Efisiensi tiang kelompok

Pu : 1279,06 Ton  
 Q<sub>nett</sub> : 443,17 Ton  
 Jumlah tiang: 
$$: \frac{Pu}{Q_{nett}}$$

$$: \frac{1279,06}{443,17} = 3,88 \approx 4 \text{ buah}$$

Menghitung efisiensi pondasi

Jumlah baris, m : 2  
 Jumlah tiang, n : 4  
 S max (3d) : 2,4 m  
 $\theta$  : 18,435°  
 Effisiensi : 
$$: 1 - \frac{\theta(n' - 1)m + (m - 1)n'}{90 \times m \times n'}$$

$$: 1 - \frac{18,435(2 - 1)2 + (2 - 1)2}{90 \times 2 \times 2}$$

$$: 1 - \frac{18,435 + 4}{360}$$

$$: 1 - 0,2048$$

$$: 0,795$$

Daya dukung tiang kelompok

Q<sub>ijin</sub> : n x eff x Q<sub>nett</sub>  
 : 4 x 0,795 x 443,17  
 : 1409,28 ton  $\geq$  1279,06 Ton OK

#### 5. Jarak tiang ke titik pusat

No	x	x <sup>2</sup>	y	Y <sup>2</sup>
1	1,2	1,44	1,2	1,44
2	1,2	1,44	-1,2	1,44
3	-1,2	1,44	1,2	1,44
4	-1,2	1,44	-1,2	1,44
	$\Sigma x^2$	5,76	$\Sigma y^2$	5,76

6. Perhitungan akibat beban tetap

$$\begin{aligned}
 Pu &: \frac{\Sigma P}{n} + \frac{Mx y_{max}}{\Sigma y^2} + \frac{My x_{max}}{\Sigma x^2} \\
 &: \frac{1279,06}{4} + \frac{Mx 1,2}{5,76} + \frac{My 1,44}{5,76} \\
 &: 320,315 \text{ Ton} \\
 &: 320,315 \text{ Ton} < 352,32 \text{ Ton } \underline{OK}
 \end{aligned}$$

7. Gaya geser satu arah yang terjadi pada *pile cap* arah Y

$$\begin{aligned}
 \sigma &: P/A &= 784,223 \text{ KN} \\
 G' &: L-(L/2+b.kolom/2+d) &= 0,2345 \text{ mm} \\
 Vu &: \sigma \cdot L \cdot G' &= 735,601 \text{ KN} \\
 \phi Vc &: 0,75 \times 0,17 \sqrt{f_c'} \times b \times d &= 3944,369 \text{ KN} \\
 \text{Cek, } \phi Vc &: \phi Vc > Vu &= 3944,369 \text{ KN} > 735,601 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

OK

8. Gaya geser satu arah yang terjadi pada *pile cap* arah X

$$\begin{aligned}
 \sigma &: P/A &= 784,223 \text{ KN} \\
 G' &: L-(L/2+b.kolom/2+d) &= 0,2345 \text{ mm} \\
 Vu &: \sigma \cdot L \cdot G' &= 735,601 \text{ KN} \\
 \phi Vc &: 0,75 \times 0,17 \sqrt{f_c'} \times b \times d &= 3944,369 \text{ KN} \\
 \text{Cek, } \phi Vc &: \phi Vc > Vu &= 3944,369 \text{ KN} > 735,601 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

OK

## 9. Geser dua arah yang bekerja pada pile cap

$$\begin{aligned}
 B0 & : 4 \cdot (B_{\text{kolom}} + d') & = 9,2345 \text{ KN} \\
 V_u \text{ pons} & : \sigma \cdot A_t & = 1735,6017 \text{ KN} \\
 \phi V_c \text{ pons} & : 0,75 \times V_c & = 3944,3698 \text{ KN} \\
 \text{Cek } \phi V_c & : \phi V_c > V_u & = 3944,3698 \text{ KN} > 1735,6017 \text{ KN} \text{ OK}
 \end{aligned}$$

## 10. Desain lentur tulangan arah Y

$$\begin{aligned}
 b_1 & : \text{Jarak ujung poer ke tepi kolom} & = 1,5 \text{ m} \\
 b_2 & : \text{Jarak as tiang ke tepi kolom} & = 0,2345 \text{ m} \\
 q' & : \text{Berat poer yang ditinjau} & = 140 \text{ KN} \\
 P & & = 12547,5786 \text{ KN} \\
 M_u & : P \cdot b_2 - q' \cdot b_1 / 2 & = 2784,9071 \text{ KN} \\
 M_n & : M_u / 0,9 & = 3094,341 \text{ KN} \\
 R_n & : M_n / b \cdot d^2 & = 0,000483 \text{ Nmm} \\
 \rho_{\text{perlu}} & : \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f_c'}} \right] \\
 & : \frac{0,85 \cdot 37,350}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,000483}{0,85 \cdot 37,350}} \right] \\
 & : 0,004025 \\
 A_{s\text{perlu}} & : \rho \times b \times d' \\
 & : 0,004025 \times 4 \times 1,2655 \\
 & : 20376,431 \text{ mm}^2 \\
 A_{s\text{min}} & : 0,0018 \times b \times d' \\
 & : 0,0018 \times 4 \times 1,2655 \\
 & : 9111,6 \text{ mm}^2 \\
 \text{Spasi} & : 120 \text{ mm} \\
 \text{Jumlah Tulangan} & : (\text{lebar penampang} - 4 \times \text{Selimut beton}) / \text{jarak tulangan} \\
 & : (4000 - 2 \times 120) / 120 \\
 & : 34 \\
 \text{Aspasang} & : 660,52 \times 34
 \end{aligned}$$

$$: 22457,675 \text{ mm}^2 (D29 - 120)$$

$$\text{Cek kapasitas} : \text{Aspasang} > \text{Aspakai} = 22457,675 \text{ mm}^2 > 20376,431 \text{ mm}^2$$

OK

#### 11. Desain lentur tulangan arah X

$$\text{Asperlu} : 50 \% \text{ Asperlu arah Y} = 10188,215 \text{ mm}^2$$

$$\text{Asmin} : 0,0018 \times b \times d' = 9111,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Spasi} : 120 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah Tulangan} : (\text{lebar penampang} - 2 \times \text{Selimut beton}) / \text{jarak tulangan}$$

$$: (4000 - 2 \times 120) / 120$$

$$: 34$$

$$\text{Aspasang} : 660,52 \times 34$$

$$: 22457,675 \text{ mm}^2 (D29 - 120)$$

$$\text{Cek Kapasitas} : \text{Aspasang} > \text{Asmin} = 22457,675 \text{ mm}^2 > 10188,215 \text{ mm}^2$$

OK

#### 12. Desain tulangan susut arah Y

$$\text{Asperlu} : 50 \% \text{ Aspasang bawah} = 11228,837 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter tul.} : 25 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi} : 150 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah Tulangan} : (\text{lebar penampang} - 2 \times \text{Selimut beton}) / \text{jarak tulangan}$$

$$: (4000 - 2 \times 120) / 150$$

$$: 26$$

$$\text{Aspasang} : 490,87 \times 26$$

$$: 12762,62 \text{ mm}^2 (D25 - 150)$$

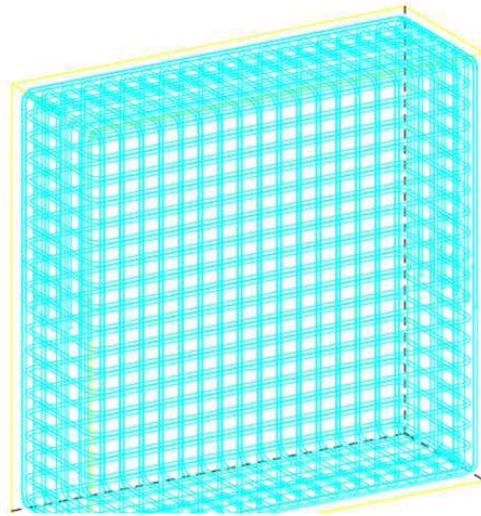
$$\text{Cek Kapasitas} : \text{Aspasang} > \text{Asperlu} = 12762,62 \text{ mm}^2 > 11228,837$$

mm<sup>2</sup> OK

#### 13. Desain tulangan susut arah X

$$\text{Asperlu} : 50 \% \text{ Aspasang bawah} = 11228,837 \text{ mm}^2$$

Diameter tul. : 25 mm  
 Spasi : 150 mm  
 Jumlah Tulangan : (lebar penampang – 2 × Selimut beton) / jarak tulangan  
                           :  $(4000 - 2 \times 120) / 150$   
                           : 26  
 Aspasang :  $490,87 \times 26$   
                   :  $12762,62 \text{ mm}^2 (D25 - 150)$   
 Cek Kapasitas :  $\text{Aspasang} > \text{Asperlu} = 12762,62 \text{ mm}^2 > 11228,837$   
 mm<sup>2</sup>



Gambar 4. 59 Detail Penulangan *PileCap* PC-1

Sumber: Dokumentasi Pribadi

#### 4.6.2 *PileCap* PC-2

##### 1. Data rencana:

1. Diameter bored pile : 800 mm
2. Jarak as tiang ke ujung pile cap : 800 mm

- 3. bkolom : 800 mm
- 4. hkolom : 800 mm
- 5. Asumsi tebal poer : 1400 mm
- 6. Diameter tulangan utama : 29 mm
- 7. Tebal efektif, d' : 1236,5 mm

2. Gaya yang bekerja pada *pilecap*

Dari output SAP2000 diperoleh gaya yang bekerja pada join ? adalah:

- P : 7269,599 KN / 740,63 Ton
- Mx : 167,053 KNm / 17,03 Ton m
- My : 822,8052 KNm / 83,80 Ton m

3. Berat pilecap

- L : 4 m
- B : 4 m
- d : 1,4 m
- Luas, A : 8 m<sup>2</sup>
- Berat : 26,88 Ton
- Pu : 740,63 Ton

4. Efisiensi tiang kelompok

- Pu : 740,63 Ton
- Qnett : 443,17 Ton
- Jumlah tiang: :  $\frac{Pu}{Qnett}$
- :  $\frac{740,63}{443,17} = 2,67 = 3$  buah

Menghitung efisiensi pondasi

- Jumlah baris, m : 2
- Jumlah tiang, n : 3
- S (2.5d) : 2,0 m
- $\theta$  : 21,8
- Effisiensi :  $1 - \frac{(\theta(n^m - 1)m + (m - 1)n^m)}{(90 \times m \times n^m)}$
- :  $1 - \frac{(21,8(2^2 - 1)2 + (2 - 1)3)}{(90 \times 2 \times 3)}$

$$: 1 - \frac{(21,8 \times 5)}{540}$$

$$: 0,798$$

Daya dukung tiang kelompok

$$Q_{ijin} : n \times \text{eff} \times Q_{nett}$$

$$: 3 \times 0,798 \times 443,17$$

$$: 1063,6 \text{ ton} \geq 740,63 \text{ Ton OK}$$

5. Jarak tiang ke titik pusat

No	x	x <sup>2</sup>	y	Y <sup>2</sup>
1	0	0	1,155	1,334
2	-1,0	1,0	-0,577	0,333
3	1,0	1,0	-0,577	0,333
	$\Sigma x^2$	2,0	$\Sigma y^2$	2,0

6. Perhitungan akibat beban tetap

$$P_u : \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_x y_{max}}{\Sigma y^2} + \frac{M_y x_{max}}{\Sigma x^2}$$

$$: \frac{740,63}{3} + \frac{17,03 \times 1,155}{2} + \frac{83,80 \times 1}{2}$$

$$: 246,88 + 9,83 + 41,90$$

$$: 298,61 \text{ Ton} < 443,17 \text{ Ton OK}$$

7. Gaya geser satu arah yang terjadi pada pile cap arah Y

$$\sigma : P/A = 2986,1 \text{ KN}$$

$$G' : L - (L/2 + b.kolom/2 + d) = 4946 \text{ mm}$$

$$V_u : \sigma \cdot L \cdot G' = 2986,1 \text{ KN}$$

$$\phi V_c : 0,75 \times 0,17 \sqrt{f_c'} \times b \times d = 3854,9 \text{ KN}$$

$$\text{Cek, } \phi V_c : \phi V_c > V_u = 3854,9 \text{ KN} > 2986,1 \text{ KN OK}$$

8. Gaya geser satu arah yang terjadi pada pile cap arah X

$$\sigma : P/A = 2986,1 \text{ KN}$$

$$G' : L - (L/2 + b.kolom/2 + d) = 4946 \text{ mm}$$

$$V_u : \sigma \cdot L \cdot G' = 2986,1 \text{ KN}$$

$$\phi V_c : 0,75 \times 0,17 \sqrt{f_c'} \times b \times d = 3854,9 \text{ KN}$$

$$\text{Cek, } \phi V_c : \phi V_c > V_u = 3854,9 \text{ KN} > 2986,1 \text{ KN OK}$$

## 9. Geser dua arah yang bekerja pada pile cap

$$b\sigma : P/A = 373,26 \text{ KN}$$

$$A_t : (B.L)-(b_{kolom}+d')(h_{kolom}+d') = 11,85 \text{ m}^2$$

$$V_u : \sigma \cdot A_t = 4423,1 \text{ KN}$$

$$V_c : 0,33\sqrt{f_c'} \cdot b_0 \cdot d' = 20345 \text{ KN}$$

$$\phi V_c : 0,75 \times V_c = 15258,8 \text{ KN}$$

$$\text{Cek } \phi V_c : \phi V_c > V_u = 15258,8 \text{ KN} > 4423,1 \text{ KN OK}$$

## 10. Desain lentur tulangan arah Y

$$b_1 : \text{Jarak ujung poer ke tepi kolom} = 1,6 \text{ m}$$

$$b_2 : \text{Jarak as tiang ke tepi kolom} = 1,1 \text{ m}$$

$$q' : \text{Berat poer yang ditinjau} = 33,6 \text{ KN}$$

$$P = 2986,1 \text{ KN}$$

$$M_u : P \cdot b_2 - q' \cdot b_1 / 2 = 3327,7 \text{ KN}$$

$$M_n : M_u / 0,9 = 3697,4 \text{ KN}$$

$$R_n : M_n / b \cdot d^2 = 0,538 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} : \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 f_c'}} \right]$$

$$: \frac{0,85 \cdot 37,350}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,538}{0,85 \cdot 37,350}} \right]$$

$$: 0,00130$$

$$\text{Asperlu} : \rho \times b \times d'$$

$$: 0,00130 \times 4000 \times 1310,5$$

$$: 6814,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Asmin} : 0,0018 \times b \times d'$$

$$: 0,0018 \times 4000 \times 1310,5$$

$$: 9439,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Spasi} : 120 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah Tulangan} : (\text{lebar penampang} - 2 \times \text{Selimut beton}) / \text{jarak tulangan}$$

$$: (4000 - 2 \times 75) / 120$$

$$: 33$$

Aspasang :  $660,5 \times 33$   
 :  $21796,5 \text{ mm}^2 (D29 - 120)$

Cek kapasitas :  $\text{Aspasang} > \text{Asmin} = 21796,5 \text{ mm}^2 > 9439,6 \text{ mm}^2$

OK

11. Desain lentur tulangan arah X

Asperlu :  $50 \% \text{ Asperlu arah Y} = 3407,3 \text{ mm}^2$

Asmin :  $0,0018 \times b \times d' = 9439,6 \text{ mm}^2$

Spasi : 120 mm

Jumlah Tulangan :  $(\text{lebar penampang} - 2 \times \text{Selimut beton}) / \text{jarak tulangan}$

:  $(4000 - 2 \times 75) / 200$

: 33

Aspasang :  $660,5 \times 33$

:  $21796,5 \text{ mm}^2 (D29 - 120)$

Cek Kapasitas :  $\text{Aspasang} > \text{Asmin} = 21796,5 \text{ mm}^2 > 9439,6 \text{ mm}^2$

OK

12. Desain tulangan susut arah Y

Asperlu :  $50 \% \text{ Aspasang bawah} = 10898,3 \text{ mm}^2$

Diameter tul. : 25 mm

Spasi : 120 mm

Jumlah Tulangan :  $(\text{lebar penampang} - 2 \times \text{Selimut beton}) / \text{jarak tulangan}$

:  $(4000 - 2 \times 75) / 120$

: 33

Aspasang :  $490,9 \times 33$

:  $16199,7 \text{ mm}^2 (D25 - 120)$

Cek Kapasitas :  $\text{Aspasang} > \text{Asperlu} = 16199,7 \text{ mm}^2 > 10898,3 \text{ mm}^2$

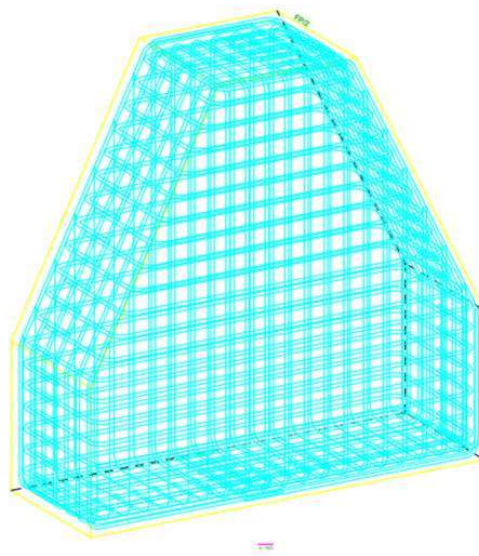
OK

13. Desain tulangan susut arah X

Asperlu :  $50 \% \text{ Aspasang bawah} = 10898,3 \text{ mm}^2$

Diameter tul. : 25 mm

Spasi : 120 mm  
 Jumlah Tulangan : (lebar penampang – 2 × Selimut beton) / jarak tulangan  
 :  $(400 - 2 \times 75) / 120$   
 : 33  
 Aspasang : 490,9 x 33  
 : 16199,7 mm<sup>2</sup> (D25 - 120)  
 Cek Kapasitas : Aspasang > Asperlu = 16199,7 mm<sup>2</sup> > 10898,3 mm<sup>2</sup>  
OK



Gambar 4. 60 Detail Penulangan *PileCap* PC-2

Sumber: Dokumentasi Pribadi

#### 4.6.3 *PileCap* PC-3

##### 1. Data rencana:

1. Diameter bored pile : 800 mm
2. Jarak as tiang ke ujung pile cap : 800 mm
3. bkolom : 800 mm
4. hkolom : 800 mm

5. Asumsi tebal poer : 1400 mm  
 6. Diameter tulangan utama : 29 mm  
 7. Tebal efektif,  $d'$  : 1236,5 mm

2. Gaya yang bekerja pada *pilecap*

Dari *output* SAP2000 diperoleh gaya yang bekerja pada join ? adalah:

- P : 5738,097 KN / 584,9 Ton  
 Mx : 734,2525 KNm / 74,8 Ton m  
 My : 13,7073 KNm / 1,4 Ton m

3. Berat *pilecap*

- L : 4 m  
 B : 2 m  
 d : 1,4 m  
 Luas, A : 8 m<sup>2</sup>  
 Berat : 26,88 Ton  
 Pu : 5738,097 Ton

4. Efisiensi tiang kelompok

- Pu : 584,9 Ton  
 Q<sub>nett</sub> : 443,17 Ton  
 Jumlah tiang: :  $\frac{Pu}{Q_{nett}}$   
 :  $\frac{584,9}{443,17} = 1,32 \approx 2$  buah

Menghitung efisiensi pondasi

- Jumlah baris, m : 1  
 Jumlah tiang, n : 2  
 S (2.5d) : 2 m  
 $\theta$  : 21,801  
 Effisiensi :  $1 - \frac{\theta(n'-1)m + (m-1)n'}{90 \times m \times n'}$   
 :  $1 - \frac{21,801(2-1)1 + (1-1)2}{90 \times 1 \times 2}$   
 :  $1 - \frac{21,801 + 0}{180}$

$$: 0,879$$

Daya dukung tiang kelompok

$$\begin{aligned} Q_{ijin} &: n \times \text{eff} \times Q_{\text{nett}} \\ &: 2 \times 0,879 \times 443,17 \\ &: 779,1 \text{ ton} \geq 584,9 \text{ Ton } \underline{\text{OK}} \end{aligned}$$

#### 5. Jarak tiang ke titik pusat

No	x	x <sup>2</sup>	y	Y <sup>2</sup>
1	1,2	1,44	0	0
2	-1,2	1,44	0	0
	$\Sigma x^2$	2,88	$\Sigma y^2$	0

#### 6. Perhitungan akibat beban tetap

$$\begin{aligned} P_u &: \frac{\Sigma P}{n} + \frac{Mx_{ymax}}{\Sigma y^2} + \frac{My_{xmax}}{\Sigma x^2} \\ &: \frac{584,9}{2} + \frac{74,8 \cdot 0}{0} + \frac{1,4 \cdot 1,2}{2,88} \\ &: 292,45 + 0 + 0,583 \\ &: 293,033 \text{ Ton} < 443,17 \text{ Ton } \underline{\text{OK}} \end{aligned}$$

#### 7. Gaya geser satu arah yang terjadi pada *pile cap* arah Y

$$\begin{aligned} \sigma &: P/A &= 731,213 \text{ KN} \\ G' &: L-(L/2+b.kolom/2+d) &= 289,5 \text{ mm} \\ V_u &: \sigma \cdot L \cdot G' &= 423,37 \text{ KN} \\ \phi V_c &: 0,75 \times 0,17 \sqrt{f_c'} \times b \times d &= 4083,3 \text{ KN} \\ \text{Cek, } \phi V_c &: \phi V_c > V_u &= 4083,3 \text{ KN} > 731,213 \text{ KN } \underline{\text{OK}} \end{aligned}$$

#### 8. Gaya geser satu arah yang terjadi pada *pile cap* arah X

$$\begin{aligned} \sigma &: P/A &= 731,213 \text{ KN} \\ G' &: L-(L/2+b.kolom/2+d) &= 289,5 \text{ mm} \\ V_u &: \sigma \cdot L \cdot G' &= 846,74 \text{ KN} \\ \phi V_c &: 0,75 \times 0,17 \sqrt{f_c'} \times b \times d &= 2041,65 \text{ KN} \\ \text{Cek, } \phi V_c &: \phi V_c > V_u &= 2041,65 \text{ KN} > 846,74 \text{ KN } \underline{\text{OK}} \end{aligned}$$

## 9. Geser dua arah yang bekerja pada pile cap

$$\begin{aligned}
 \sigma & : P/A & = 731,213 \text{ KN} \\
 B_o & : 4x (b.kolom+d) & = 8442 \text{ mm} \\
 A_t & : (B.L)-(b.kolom+d')(h.kolom+d') & = 4,454 \text{ m}^2 \\
 V_u & : \sigma \cdot A_t & = 3258,8 \text{ KN} \\
 V_c & : 0,33\sqrt{f_c'} \cdot b_0 \cdot d' & = 22313,6 \text{ KN} \\
 \phi V_c & : 0,75 \times V_c & = 16735,2 \text{ KN} \\
 \text{Cek } \phi V_c & : \phi V_c > V_u & = 16735,2 \text{ KN} > 3258,8 \text{ KN} \text{ OK}
 \end{aligned}$$

## 10. Desain lentur tulangan arah Y

$$\begin{aligned}
 b_1 & : \text{Jarak ujung poer ke tepi kolom} & = 1,6 \text{ m} \\
 b_2 & : \text{Jarak as tiang ke tepi kolom} & = 1,2 \text{ m} \\
 q' & : \text{Berat poer yang ditinjau} & = 65,92 \text{ KN} \\
 P & & = 3236,2 \text{ KN} \\
 M_u & : P \cdot b_2 - q' \cdot b_1 / 2 & = 3799,06 \text{ KN} \\
 M_n & : M_u / 0,9 & = 4221,18 \text{ KN} \\
 R_n & : M_n / b \cdot d^2 & = 0,614 \text{ Nmm} \\
 \rho_{\text{perlu}} & : \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 f_c'}} \right] \\
 & : \frac{0,85 \cdot 37,350}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,614}{0,85 \cdot 37,350}} \right] \\
 & : 0,00147 \\
 \rho_{\text{perlu}} & : \rho \times b \times d' \\
 & : 0,00147 \times 4000 \times 1310,5 \\
 & : 7705,7 \text{ mm}^2 \\
 \rho_{\text{min}} & : 0,0018 \times b \times d' \\
 & : 0,0018 \times 4000 \times 1310,5 \\
 & : 9435,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Spasi : 150 mm  
 Jumlah Tulangan : (lebar penampang – 2 × Selimut beton) / jarak tulangan  
 :  $(4000 - 2 \times 75) / 150$   
 : 26  
 Aspasang :  $660,5 \times 26$   
 :  $17173 \text{ mm}^2$  (D29 - 150)  
 Cek kapasitas : Aspasang > Asmin =  $17173 \text{ mm}^2 > 9435,6 \text{ mm}^2$  OK

#### 11. Desain lentur tulangan arah X

Asperlu : 50 % Asperlu arah Y =  $4717,8 \text{ mm}^2$   
 Asmin :  $0,0018 \times b \times d'$  =  $4717,8 \text{ mm}^2$   
 Spasi : 150 mm  
 Jumlah Tulangan : (lebar penampang – 2 × Selimut beton) / jarak tulangan  
 :  $(2000 - 2 \times 75) / 150$   
 : 13  
 Aspasang :  $660,5 \times 13$   
 :  $8586,5 \text{ mm}^2$  (D29 - 150)  
 Cek Kapasitas : Aspasang > Asmin =  $8586,5 \text{ mm}^2 > 4717,8 \text{ mm}^2$  OK

#### 12. Desain tulangan susut arah Y

Asperlu : 20 % Aspasang bawah =  $1887,1 \text{ mm}^2$   
 Diameter tul. : 25 mm  
 Spasi : 150 mm  
 Jumlah Tulangan : (lebar penampang – 2 × Selimut beton) / jarak tulangan  
 :  $(4000 - 2 \times 75) / 150$   
 : 26  
 Aspasang :  $490,87 \times 26$   
 :  $12762,6 \text{ mm}^2$  (D25 - 150)

Cek Kapasitas :  $As_{pasang} > As_{perlu} = 12762,6 \text{ mm}^2 > 1887,1 \text{ mm}^2$

OK

13. Desain tulangan susut arah X

Asperlu : 20 %  $As_{pasang}$  bawah = 943,6 mm<sup>2</sup>

Diameter tul. : 25 mm

Spasi : 150 mm

Jumlah Tulangan :  $(\text{lebar penampang} - 2 \times \text{Selimut beton}) / \text{jarak tulangan}$

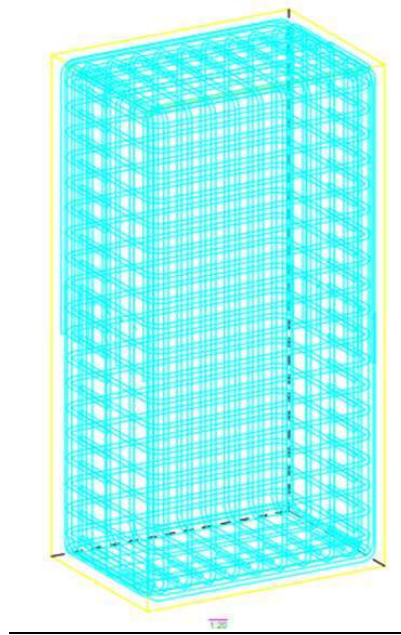
:  $(2000 - 2 \times 75) / 150$

: 13

$As_{pasang}$  : 490,87 x 13

: 6381,3 mm<sup>2</sup> (D25 - 150)

Cek Kapasitas :  $As_{pasang} > As_{perlu} = 6381,3 \text{ mm}^2 > 943,6 \text{ mm}^2$  OK



Gambar 4. 61 Detail Penulangan *PileCap* PC-3

Sumber: Dokumentasi Pribadi

#### 4.6.4 Rekapitulasi Penulangan *PileCap*

Berikut adalah rekapitulasi dari hasil perhitungan penulangan *pilecap*:

Tipe	Tulangan Atas		Tulangan Bawah	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
PC-1	D25 - 150	D25 - 150	D29 - 120	D29 - 120
PC-2	D25 - 120	D25 - 120	D29 - 120	D29 - 120
PC-3	D25 - 150	D25 - 150	D29 - 150	D29 - 150

#### 4.7 Permodelan 3D Struktur Menggunakan Aplikasi *Tekla Structure*

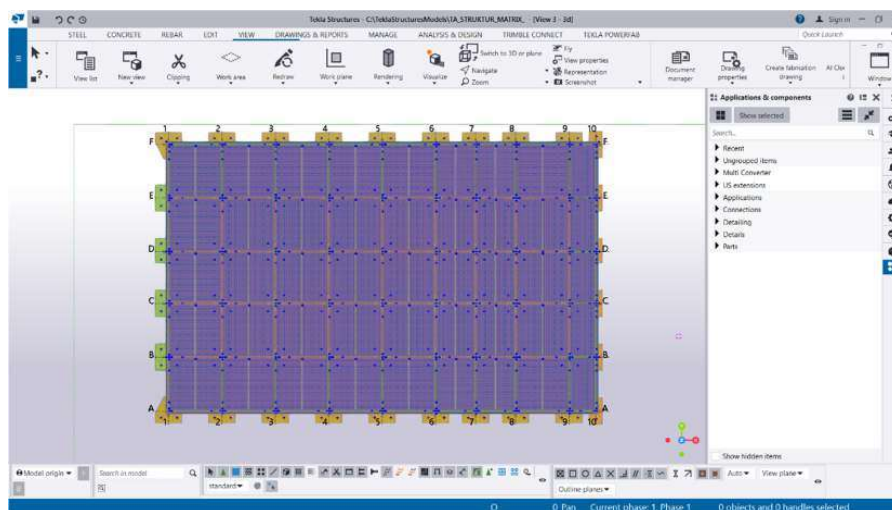
Permodelan 3D melalui aplikasi *Tekla Structure* dapat dilakukan apabila perhitungan struktur atas dan struktur bawah selesai dilakukan. Dan berikut adalah hasil permodelan 3D dari Proyek Pembangunan Kampus Universitas Nahdatul Ulama Yogyakarta.

Dari permodelan tersebut juga, dapat diperoleh volume dari setiap item yang ada di aplikasi *Tekla Structure*. Hasil *output* tersebut nantinya dapat digunakan sebagai acuan dalam pembuatan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Selain itu juga *output* gambar *detail engineering design* (DED) dari Proyek Pembangunan Kampus Universitas Nahdatul Ulama Yogyakarta dapat dibuat langsung pada aplikasi *Tekla Structure*, gambar DED dapat dilihat pada lampiran.



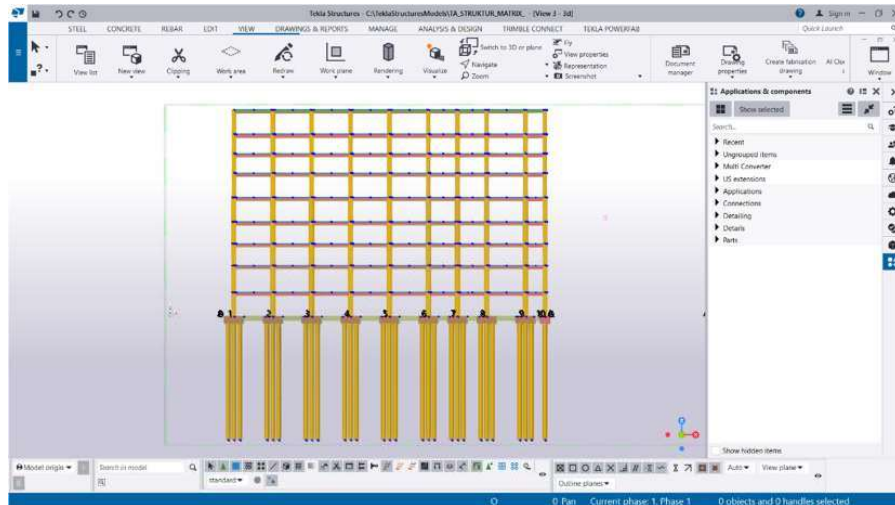
Gambar 4. 62 Gambar Permodelan 3D dengan *Tekla Structure*

Sumber: Dokumentasi Pribadi



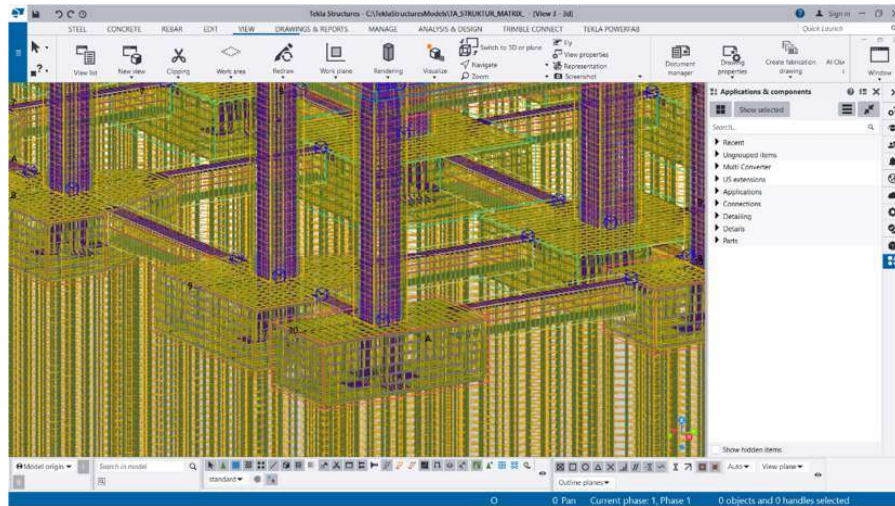
Gambar 4. 63 Gambar Tampak Atas Permodelan 3D dengan *Tekla Structure*

Sumber: Dokumentasi Pribadi



Gambar 4. 64 Gambar Tampak Samping Permodelan 3D dengan *Tekla Structure*

Sumber: Dokumentasi Pribadi

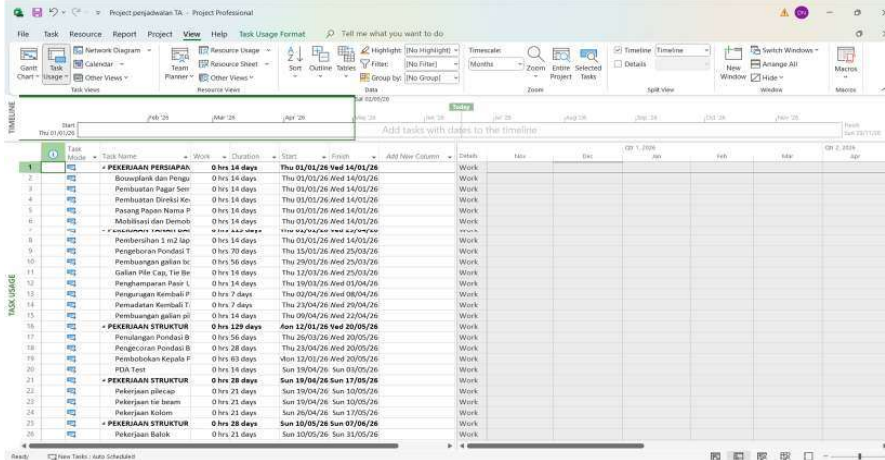


Gambar 4. 65 Gambar Detail Penulangan Permodelan 3D dengan *Tekla Structure*

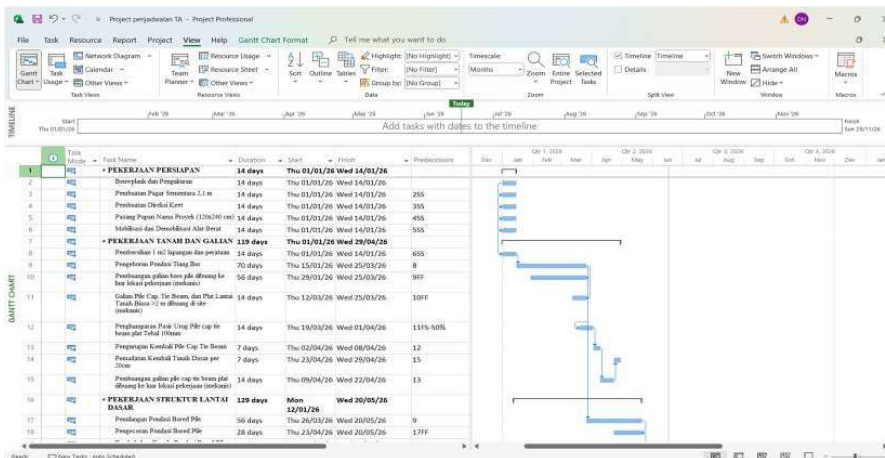
Sumber: Dokumentasi Pribadi

#### 4.8 Penjadwalan dan Simulasi dengan *Ms Project*

Penjadwalan pekerjaan dilakukan menggunakan aplikasi *Ms Project*, dengan memanfaatkan fitur *task usage* pada aplikasi tersebut. Pada fitur task usage penjadwalan dilakukan dengan menambahkan item pekerjaan, durasi pekerjaan.

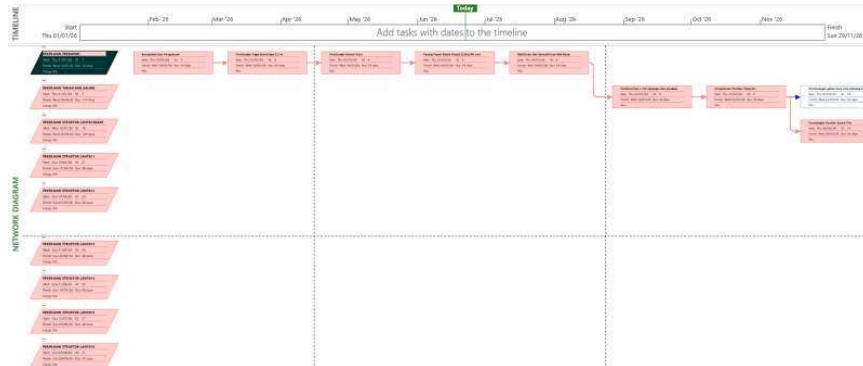


Gambar 4. 66 Gambar Penjadwalan menggunakan aplikasi *Ms Project*



Gambar 4. 67 Gambar Pada bagian *Gantt Chart* aplikasi *Ms Project*

Pada bagian *Gantt Chart* dapat dilihat simulasi dari penjadwalan pekerjaan. Dengan total durasi penjadwalan pekerjaan struktur adalah 48 minggu atau 12 bulan kurang 1 minggu.



Gambar NWP Pada Penjadwalan *Ms Project*

Sumber: Dokumentasi Pribadi

#### 4.9 Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pembangunan Kampus Universitas Nahdatul Ulama Yogyakarta dihitung berdasarkan *output* volume pekerjaan yang dikeluarkan oleh aplikasi *Tekla Structure* dan dikalikan dengan nilai harga satuan pekerjaan dari Kota Yogyakarta. Hasil dari perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Proyek Pembangunan Kampus Universitas Nahdatul Ulama Yogyakarta beserta rekapitulasinya adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 28 Tabel Rencana Anggaran Biaya (RAB)

PEKERJAAN STRUKTUR						
NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SAT	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH	(Rp)
<b>PEKERJAAN PERSIAPAN</b>						
1	Bouwplank dan Pengukuran	208	m'	Rp 92.044	Rp	19.145.206
2	Pembuatan Pagar Sementara 2,1 m	144	m'	Rp 395.886	Rp	57.007.580
3	Pembuatan Direksi Keet	16	m <sup>2</sup>	Rp 2.077.078	Rp	33.233.253
4	Pasang Papan Nama Proyek (120x240 cm)	1	Bh	Rp 609.688	Rp	609.688
5	Mobilisasi dan Demobilisasi Alat Berat	1	LS	Rp 46.000.000	Rp	46.000.000
					<b>Sub Jumlah Pekerjaan Persiapan</b>	<b>Rp 155.995.726,37</b>
<b>PEKERJAAN TANAH DAN GALIAN</b>						
1	Pembersihan 1 m2 lapangan dan perataan	3700	m <sup>2</sup>	Rp 21.450	Rp	79.365.000
2	Pengeboran Pondasi Tiang Bor	5.040	m'	Rp 201.888	Rp	1.017.514.381
3	Pembuangan galian bore pile dibuang ke luar lokasi pekerjaan (mekanis)	989	m <sup>3</sup>	Rp 46.064	Rp	45.562.290
4	Galian Pile Cap, Tie Beam, dan Plat Lantai Tanah Biasa >2 m dibuang di site (mekanis)	1356,60	m <sup>3</sup>	Rp 31.629	Rp	42.908.250
5	Penghamparan Pasir Urug Pile cap tie beam plat Tebal 100mm	256,00	m <sup>3</sup>	Rp 445.940	Rp	114.160.640
6	Pengurugan Kembali Pile Cap Tie Beam	1311,80	m <sup>3</sup>	Rp 62.792	Rp	82.370.104
7	Pemadatan Kembali Tanah Dasar per 20cm	135,66	m <sup>3</sup>	Rp 84.975	Rp	11.527.709
8	Pembuangan galian pile cap tie beam plat dibuang ke luar lokasi pekerjaan (mekanis)	1334,20	m <sup>3</sup>	Rp 46.064	Rp	61.459.112
					<b>Sub Jumlah Pekerjaan Tanah dan Galian</b>	<b>Rp 1.454.867.484,96</b>
<b>PEKERJAAN PONDASI STRUKTUR LANTAI DASAR</b>						
<b>PEKERJAAN PONDASI BORED PILE</b>						
1	Pemulangan Pondasi Bored Pile	5.040	m'	Rp 871.949	Rp	4.394.625.238
2	Pengecoran Pondasi Bored Pile	5.040	m'	Rp 510.042	Rp	2.570.613.890
3	Pembobokan Kepala Pondasi Bored Pile	5,856	m <sup>3</sup>	Rp 214.938	Rp	1.258.576
4	PDA Test	1	Titik	Rp 15.000.000	Rp	15.000.000
					<b>Sub Total Pekerjaan Pondasi</b>	<b>Rp 6.981.497.703,64</b>
1	Pile Cap PC-1					
	- Pengecoran lantai kerja 50mm	201,6	m <sup>3</sup>	Rp 1.359.700	Rp	274.115.553
	- Bekisting pasangan dinding bata merah m2	201,60	m <sup>2</sup>	Rp 162.412	Rp	32.742.165
	- Pemulangan	97.041,60	Kg	Rp 19.375	Rp	1.880.198.467
	- Pengecoran, f'c 37,350 MPa	806,40	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.056	Rp	1.323.347.531
2	Pile Cap PC-2					
	- Pengecoran lantai kerja 50mm	30,24	m <sup>3</sup>	Rp 1.359.700	Rp	41.117.333
	- Bekisting pasangan dinding bata merah m2	100,80	m <sup>2</sup>	Rp 162.412	Rp	16.371.083
	- Pemulangan	69591,60	Kg	Rp 19.375	Rp	1.348.349.776
	- Pengecoran, f'c 37,350 MPa	318,06	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.056	Rp	521.954.261

3	Pile Cap PC-3					
	- Pengecoran lantai kerja 50mm	20,16	m <sup>3</sup>	Rp	1.359.700	Rp 27.411.552
	- Bekisting pasangan dinding bata merah m2	662	m <sup>2</sup>	Rp	162.412	Rp 1.074.355
	- Penulangan	67200,00	Kg	Rp	19.375	Rp 1.302.012.096
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	67,2	m <sup>3</sup>	Rp	1.641.056	Rp 110.278.961
4	Tie Beam (TB-1)					
	- Pengecoran lantai kerja 50mm	151,69	m <sup>3</sup>	Rp	1.359.700	Rp 206.252.918
	- Bekisting pasangan dinding bata merah m2	303,38	m <sup>2</sup>	Rp	162.412	Rp 49.272.411
	- Penulangan	36590,00	Kg	Rp	19.375	Rp 708.937.836
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	165	m <sup>3</sup>	Rp	1.641.056	Rp 270.675.771
5	Kolom K1 (1000X1000)					
	- Bekisting	448,00	m <sup>2</sup>	Rp	588.729	Rp 263.750.502
	- Penulangan	45616,00	Kg	Rp	19.375	Rp 883.818.211
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	89,6	m <sup>3</sup>	Rp	1.641.056	Rp 147.038.615
6	Kolom K2 (800X800)					
	- Bekisting	640,00	m <sup>2</sup>	Rp	588.729	Rp 376.786.432
	- Penulangan	33661,60	Kg	Rp	19.375	Rp 652.199.559
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	160	m <sup>3</sup>	Rp	1.641.056	Rp 262.568.955
	<b>Sub Jumlah Pekerjaan Persiapan</b>					<b>Rp 155.995.726,37</b>
	<b>Sub Jumlah Pekerjaan Tanah dan Galian</b>					<b>Rp 1.454.867.484,96</b>
	<b>Sub Total Pekerjaan Pondasi Tiang Bor Pile</b>					<b>Rp 6.981.497.703,64</b>
	<b>Sub Jumlah Pekerjaan Pile Cap</b>					<b>Rp 5.438.196.170,17</b>
	<b>Sub Jumlah Pekerjaan Tie Beam</b>					<b>Rp 1.235.138.936,90</b>
	<b>Sub Jumlah Pekerjaan Kolom</b>					<b>Rp 2.586.162.273,48</b>
	<b>Total Pekerjaan Struktur Lantai Dasar</b>					<b>Rp 9.259.497.380,56</b>
	<b>Total Pekerjaan Lantai Dasar</b>					<b>Rp 19.292.635.259,83</b>
<b>PEKERJAAN STRUKTUR</b>						
NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SAT	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH	(Rp)
<b>PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 2</b>						
1	Bakok B1 (700x600)					
	- Bekisting	924,00	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	565.227.967,92
	- Penulangan	45.687,60	Kg	Rp 19.375,18	Rp	885.205.473,77
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	194,00	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	318.364.857,40
2	Bakok B2 (700x500)					
	- Bekisting	376,96	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	230.593.435,92
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	69,44	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	113.954.926,28
3	Bakok BA1 (650x350)					
	- Bekisting	489,72	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	299.570.823,00
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	67,36	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	110.541.529,87
13	Plat Lantai LT 2 (200)					
	- Bekisting	2691,84	m <sup>2</sup>	Rp 659.568,80	Rp	1.775.453.678,59
	- Penulangan	70.163,40	Kg	Rp 19.375,18	Rp	1.359.428.504,41
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	528,76	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	867.724.752,58
14	Kolom K1 (1000X1000)					
	- Bekisting	492,8	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	290.125.552,64
	- Penulangan	39.984,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	774.697.197,12
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	98,56	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	161.742.476,01
15	Kolom K2 (800X800)					
	- Bekisting	704	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	414.465.075,20
	- Penulangan	30.044,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	582.107.907,92
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	176	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	288.825.850,02
	<b>Sub Jumlah Pekerjaan Balok</b>					<b>Rp 3.161.987.446,24</b>
	<b>Sub Jumlah Pekerjaan Pelat lantai</b>					<b>Rp 4.002.606.935,59</b>
	<b>Sub Jumlah Pekerjaan Kolom</b>					<b>Rp 2.511.964.058,90</b>
	<b>Total Pekerjaan Lantai 2</b>					<b>Rp 9.676.558.440,73</b>

PEKERJAAN STRUKTUR						
NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SAT	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH	(Rp)
<b>PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 3</b>						
1	Balok B1 (700x600)					
	- Bekisting	924,00	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	565.227.967,92
	- Penulangan	45.687,60	Kg	Rp 19.375,18	Rp	885.205.473,77
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	194,00	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	318.364.857,40
2	Balok B2 (700x500)					
	- Bekisting	376,96	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	230.593.435,92
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	69,44	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	113.954.926,28
3	Balok BA1 (650x350)					
	- Bekisting	489,72	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	299.570.823,00
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	67,36	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	110.541.529,87
13	Plat Lantai LT 3 (200)					
	- Bekisting	2691,84	m <sup>2</sup>	Rp 659.568,80	Rp	1.775.453.678,59
	- Penulangan	70.163,40	Kg	Rp 19.375,18	Rp	1.359.428.504,41
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	528,76	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	867.724.752,58
14	Kolom K1 (1000X1000)					
	- Bekisting	403,2	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	237.375.452,16
	- Penulangan	34.454,40	Kg	Rp 19.375,18	Rp	667.560.201,79
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	80,64	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	132.334.753,10
15	Kolom K2 (800X800)					
	- Bekisting	576	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	339.107.788,80
	- Penulangan	25.368,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	491.509.566,24
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	144	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	236.312.059,10
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Balok</b>	<b>Rp</b>	<b>3.161.987.446,24</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Pelat lantai</b>	<b>Rp</b>	<b>4.002.606.935,59</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Kolom</b>	<b>Rp</b>	<b>2.104.199.821,19</b>
				<b>Total Pekerjaan Lantai 2</b>	<b>Rp</b>	<b>9.268.794.203,02</b>
<b>PEKERJAAN STRUKTUR</b>						
NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SAT	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH	(Rp)
<b>PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 4</b>						
1	Balok B1 (700x600)					
	- Bekisting	924,00	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	565.227.967,92
	- Penulangan	45.687,60	Kg	Rp 19.375,18	Rp	885.205.473,77
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	194,00	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	318.364.857,40
2	Balok B2 (700x500)					
	- Bekisting	376,96	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	230.593.435,92
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	69,44	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	113.954.926,28
3	Balok BA1 (650x350)					
	- Bekisting	489,72	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	299.570.823,00
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	67,36	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	110.541.529,87
13	Plat Lantai LT 4 (200)					
	- Bekisting	2691,84	m <sup>2</sup>	Rp 659.568,80	Rp	1.775.453.678,59
	- Penulangan	70.163,40	Kg	Rp 19.375,18	Rp	1.359.428.504,41
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	528,76	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	867.724.752,58
14	Kolom K1 (1000X1000)					
	- Bekisting	403,2	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	237.375.452,16
	- Penulangan	34.454,40	Kg	Rp 19.375,18	Rp	667.560.201,79
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	80,64	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	132.334.753,10
15	Kolom K2 (800X800)					
	- Bekisting	576	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	339.107.788,80
	- Penulangan	25.368,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	491.509.566,24
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	144	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	236.312.059,10
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Balok</b>	<b>Rp</b>	<b>3.161.987.446,24</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Pelat lantai</b>	<b>Rp</b>	<b>4.002.606.935,59</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Kolom</b>	<b>Rp</b>	<b>2.104.199.821,19</b>
				<b>Total Pekerjaan Lantai 2</b>	<b>Rp</b>	<b>9.268.794.203,02</b>

PEKERJAAN STRUKTUR						
NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SAT	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH	(Rp)
<b>PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 5</b>						
1	Balok B1 (700x600)					
	- Bekisting	924,00	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	565.227.967,92
	- Penulangan	45.687,60	Kg	Rp 19.375,18	Rp	885.205.473,77
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	194,00	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	318.364.857,40
2	Balok B2 (700x500)					
	- Bekisting	376,96	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	230.593.435,92
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	69,44	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	113.954.926,28
3	Balok BA1 (650x350)					
	- Bekisting	489,72	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	299.570.823,00
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	67,36	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	110.541.529,87
13	Plat Lantai LT 5 (200)					
	- Bekisting	2691,84	m <sup>2</sup>	Rp 659.568,80	Rp	1.775.453.678,59
	- Penulangan	70.163,40	Kg	Rp 19.375,18	Rp	1.359.428.504,41
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	528,76	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	867.724.752,58
14	Kolom K1 (1000X1000)					
	- Bekisting	448	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	263.750.502,40
	- Penulangan	39.651,20	Kg	Rp 19.375,18	Rp	768.249.137,22
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	89,6	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	147.038.614,55
15	Kolom K2 (800X800)					
	- Bekisting	640	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	376.786.432,00
	- Penulangan	27.815,20	Kg	Rp 19.375,18	Rp	538.924.506,74
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	160	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	262.568.954,56
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Balok</b>	<b>Rp</b>	<b>3.161.987.446,24</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Pelat lantai</b>	<b>Rp</b>	<b>4.002.606.935,59</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Kolom</b>	<b>Rp</b>	<b>2.357.318.147,47</b>
				<b>Total Pekerjaan Lantai 2</b>	<b>Rp</b>	<b>9.521.912.529,29</b>
PEKERJAAN STRUKTUR						
NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SAT	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH	(Rp)
<b>PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 6</b>						
1	Balok B1 (700x600)					
	- Bekisting	924,00	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	565.227.967,92
	- Penulangan	45.687,60	Kg	Rp 19.375,18	Rp	885.205.473,77
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	194,00	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	318.364.857,40
2	Balok B2 (700x500)					
	- Bekisting	376,96	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	230.593.435,92
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	69,44	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	113.954.926,28
3	Balok BA1 (650x350)					
	- Bekisting	489,72	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	299.570.823,00
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	67,36	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	110.541.529,87
13	Plat Lantai LT 6 (200)					
	- Bekisting	2691,84	m <sup>2</sup>	Rp 659.568,80	Rp	1.775.453.678,59
	- Penulangan	70.163,40	Kg	Rp 19.375,18	Rp	1.359.428.504,41
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	528,76	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	867.724.752,58
14	Kolom K2 (800X800)					
	- Bekisting	392	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	230.781.689,60
	- Penulangan	31.321,60	Kg	Rp 19.375,18	Rp	606.861.637,89
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	68,6	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	112.576.439,27
15	Kolom K3 (700X700)					
	- Bekisting	512	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	301.429.145,60
	- Penulangan	26.712,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	517.549.808,16
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	102,4	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	168.044.130,92
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Balok</b>	<b>Rp</b>	<b>3.161.987.446,24</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Pelat lantai</b>	<b>Rp</b>	<b>4.002.606.935,59</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Kolom</b>	<b>Rp</b>	<b>1.937.242.851,43</b>
				<b>Total Pekerjaan Lantai 2</b>	<b>Rp</b>	<b>9.101.837.233,26</b>

PEKERJAAN STRUKTUR						
NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SAT	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH	(Rp)
<b>PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 7</b>						
1	Balok B1 (700x600)					
	- Bekisting	924,00	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	565.227.967,92
	- Penulangan	45.687,60	Kg	Rp 19.375,18	Rp	885.205.473,77
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	194,00	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	318.364.857,40
2	Balok B2 (700x500)					
	- Bekisting	376,96	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	230.593.435,92
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	69,44	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	113.954.926,28
3	Balok BA1 (650x350)					
	- Bekisting	489,72	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	299.570.823,00
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	67,36	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	110.541.529,87
13	Plat Lantai LT 7 (200)					
	- Bekisting	2691,84	m <sup>2</sup>	Rp 659.568,80	Rp	1.775.453.678,59
	- Penulangan	70.163,40	Kg	Rp 19.375,18	Rp	1.359.428.504,41
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	528,76	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	867.724.752,58
14	Kolom K2 (800X800)					
	- Bekisting	313,6	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	184.625.351,68
	- Penulangan	25.804,80	Kg	Rp 19.375,18	Rp	499.972.644,86
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	54,88	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	90.061.151,41
15	Kolom K3 (700X700)					
	- Bekisting	409,6	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	241.143.316,48
	- Penulangan	19.667,20	Kg	Rp 19.375,18	Rp	381.055.540,10
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	81,92	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	134.435.304,73
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Balok</b>	<b>Rp</b>	<b>3.161.987.446,24</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Pelat lantai</b>	<b>Rp</b>	<b>4.002.606.935,59</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Kolom</b>	<b>Rp</b>	<b>1.531.293.309,27</b>
				<b>Total Pekerjaan Lantai 2</b>	<b>Rp</b>	<b>8.695.887.691,09</b>
PEKERJAAN STRUKTUR						
NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SAT	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH	(Rp)
<b>PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 8</b>						
1	Balok B1 (700x600)					
	- Bekisting	924,00	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	565.227.967,92
	- Penulangan	45.687,60	Kg	Rp 19.375,18	Rp	885.205.473,77
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	194,00	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	318.364.857,40
2	Balok B2 (700x500)					
	- Bekisting	376,96	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	230.593.435,92
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	69,44	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	113.954.926,28
3	Balok BA1 (650x350)					
	- Bekisting	489,72	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	299.570.823,00
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	67,36	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	110.541.529,87
13	Plat Lantai LT 8 (200)					
	- Bekisting	2691,84	m <sup>2</sup>	Rp 659.568,80	Rp	1.775.453.678,59
	- Penulangan	70.163,40	Kg	Rp 19.375,18	Rp	1.359.428.504,41
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	528,76	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	867.724.752,58
14	Kolom K2 (800X800)					
	- Bekisting	313,6	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	184.625.351,68
	- Penulangan	25.804,80	Kg	Rp 19.375,18	Rp	499.972.644,86
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	54,88	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	90.061.151,41
15	Kolom K3 (700X700)					
	- Bekisting	409,6	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	241.143.316,48
	- Penulangan	19.667,20	Kg	Rp 19.375,18	Rp	381.055.540,10
	- Pengecoran, fc' 37,350 MPa	81,92	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	134.435.304,73
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Balok</b>	<b>Rp</b>	<b>3.161.987.446,24</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Pelat lantai</b>	<b>Rp</b>	<b>4.002.606.935,59</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Kolom</b>	<b>Rp</b>	<b>1.531.293.309,27</b>
				<b>Total Pekerjaan Lantai 2</b>	<b>Rp</b>	<b>8.695.887.691,09</b>

PEKERJAAN STRUKTUR						
NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SAT	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH	(Rp)
<b>PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 9</b>						
1	Balok B1 (700x600)					
	- Bekisting	924,00	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	565.227.967,92
	- Penulangan	45.687,60	Kg	Rp 19.375,18	Rp	885.205.473,77
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	194,00	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	318.364.857,40
2	Balok B2 (700x500)					
	- Bekisting	376,96	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	230.593.435,92
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	69,44	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	113.954.926,28
3	Balok BA1 (650x350)					
	- Bekisting	489,72	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	299.570.823,00
	- Penulangan	16478,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	319.264.216,04
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	67,36	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	110.541.529,87
13	Plat Lantai LT 9 (200)					
	- Bekisting	2691,84	m <sup>2</sup>	Rp 659.568,80	Rp	1.775.453.678,59
	- Penulangan	70.163,40	Kg	Rp 19.375,18	Rp	1.359.428.504,41
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	528,76	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	867.724.752,58
14	Kolom K2 (800X800)					
	- Bekisting	392	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	230.781.689,60
	- Penulangan	31.321,60	Kg	Rp 19.375,18	Rp	606.861.637,89
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	68,6	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	112.576.439,27
15	Kolom K3 (700X700)					
	- Bekisting	512	m <sup>2</sup>	Rp 588.728,80	Rp	301.429.145,60
	- Penulangan	26.712,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	517.549.808,16
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	102,4	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	168.044.130,92
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Balok</b>	<b>Rp</b>	<b>3.161.987.446,24</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Pelat lantai</b>	<b>Rp</b>	<b>4.002.606.935,59</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Kolom</b>	<b>Rp</b>	<b>1.937.242.851,43</b>
				<b>Total Pekerjaan Lantai 2</b>	<b>Rp</b>	<b>9.101.837.233,26</b>
PEKERJAAN STRUKTUR						
NO.	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SAT	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH	(Rp)
<b>PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI ATAP</b>						
1	Balok B2 (700x500)					
	- Bekisting	901,74	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	551.611.112,33
	- Penulangan	41.436,40	Kg	Rp 19.375,18	Rp	802.837.708,55
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	166,16	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	272.677.859,31
2	Balok B3 (600x450)					
	- Bekisting	332,64	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	203.482.068,45
	- Penulangan	10681,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	206.946.297,58
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	54,4	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	89.273.444,55
3	Balok BA2 (600x350)					
	- Bekisting	465,62	m <sup>2</sup>	Rp 611.718,58	Rp	284.828.405,22
	- Penulangan	10681,00	Kg	Rp 19.375,18	Rp	206.946.297,58
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	62,96	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	103.320.883,62
13	Plat Lantai LT Atap (200)					
	- Bekisting	2691,84	m <sup>2</sup>	Rp 659.568,80	Rp	1.775.453.678,59
	- Penulangan	70.163,40	Kg	Rp 19.375,18	Rp	1.359.428.504,41
	- Pengecoran, f'c' 37,350 MPa	528,76	m <sup>3</sup>	Rp 1.641.055,97	Rp	867.724.752,58
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Balok</b>	<b>Rp</b>	<b>2.721.924.077,19</b>
				<b>Sub Jumlah Pekerjaan Pelat lantai</b>	<b>Rp</b>	<b>4.002.606.935,59</b>
				<b>Total Pekerjaan Lantai Atap</b>	<b>Rp</b>	<b>6.724.531.012,78</b>

Tabel 4. 29 Tabel Rekap BQ

<b>REKAPITULASI RENCANA ANGGARAN BIAYA</b>		
Pekerjaan : Proyek Pembangunan Gedung Kampus NAHDATUL ULAMA YOGYAKARTA		
Lokasi : Kota Yogyakarta		
Tahun Anggaran : 2026		
<b>NO.</b>	<b>ITEM PEKERJAAN</b>	<b>JUMLAH HARGA (Rp)</b>
I.	PEKERJAAN PERSIAPAN	Rp 155.995.726,37
II.	PEKERJAAN PONDASI BORED PILE	Rp 6.981.497.703,64
III.	PEKERJAAN TANAH DAN GALIAN	Rp 1.454.867.484,96
IV.	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI DASAR	Rp 9.259.497.380,56
V.	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 2	Rp 9.676.558.440,73
VI.	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 3	Rp 9.268.794.203,02
VII.	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 4	Rp 9.268.794.203,02
VIII.	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 5	Rp 9.521.912.529,29
IX.	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 6	Rp 9.101.837.233,26
X.	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 7	Rp 8.695.887.691,09
XI.	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 8	Rp 8.695.887.691,09
XII.	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 9	Rp 9.101.837.233,26
XIII.	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI ATAP	Rp 6.724.531.012,78
	<b>JUMLAH I-X</b>	Rp 97.907.898.533,04
	<b>PPN 11%</b>	Rp 10.769.868.838,63
	<b>JUMLAH TOTAL</b>	Rp 108.677.767.371,68
	<b>DIBULATKAN</b>	Rp 108.677.767.371,00
<b>TERBILANG</b>		
Seratus Delapan Miliar Enam Ratus Tujuh Puluh Tujuh Juta Tujuh Ratus Enam Puluh Tujuh Ribu Tiga Ratus Tujuh Puluh Satu Rupiah.		