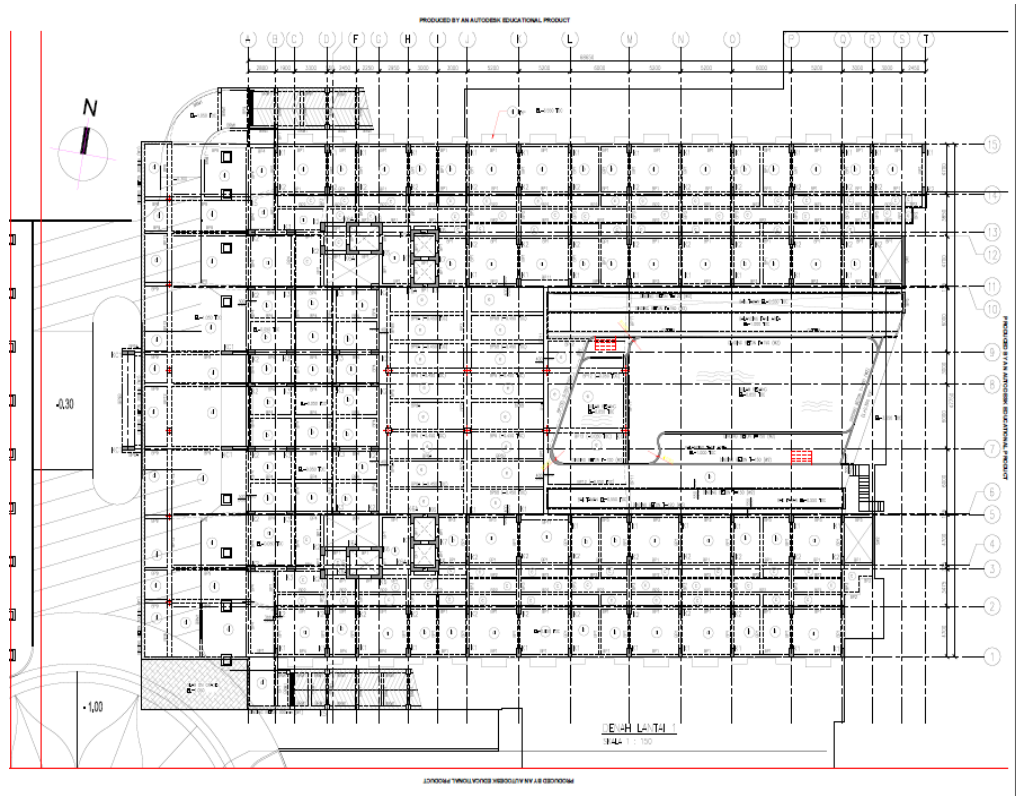


## BAB V ANALISIS PEMBEBANAN STRUKTUR

### A. Spesifikasi Data Teknis Bangunan

#### 1. Denah Bangunan



Gambar 5.1 Denah Struktur Bangunan lantai 1.

#### 2. Lokasi Bangunan

Gedung Apartemen Malioboro City Yogyakarta terletak di Jalan Raya Solo, Catur Tunggal, Sleman, Yogyakarta.

#### 3. Fungsi Bangunan

Gedung Apartemen Malioboro City Yogyakarta fungsi utamanya sebagai “hotel” atau tempat tinggal dengan masing-masing lantai fungsinya sama sebagai ruang hunian pada lantai 1 sampai 11, sedangkan basement difungsikan sebagai tempat parkir kendaraan.

## B. Beban Struktur

### 1. Mekanikal dan Elektrikal (M/E)

Mekanikal dan Elektrikal (M/E) terdiri dari mesin lift, pipa paralon untuk kabel listrik dan peralatanya, *ducting* AC, cerobong AC, serta lampu-lampu SL dan TL. Pada perancangan gedung ini digunakan M/E =  $0,5 \text{ kN/m}^2$ .

### 2. Dinding

Dinding menggunakan pasangan batu merah dengan ketebalan  $\frac{1}{2}$  batu =  $250 \text{ kg/m}^2$ .

### 3. Tangga

Tangga pada bangunan ini terdiri dari tangga utama dan lift barang. Beban hidup tangga menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) 1983 pada bangunan “**Hotel**” adalah  $3 \text{ kN/m}^2$ .

Beban mati lift terdiri dari mesin lift dan komponen lain yang berada dalam ruang lift sedangkan beban hidup lift adalah orang atau barang yang sifatnya sementara dan berada dalam ruang lift. Oleh karena itu beban lift yang bekerja pada struktur tersebut terdiri dari :

1. Beban Mati lift ( $q_D$ ) =  $200 \text{ kg/m}^2$
2. Beban Hidup lift barang ( $q_L$ ) =  $300 \text{ kg/m}^2$

### 4. Beban Mati

#### a. Berat plat $\text{m}^2$

Plat Lantai

Pasir urug 5 cm ( $0,05 \times 1,800 \text{ kg/m}^2$ )	= $90 \text{ kg/m}^2$
Spesi 2cm ( $2 \times 21 \text{ kg/m}^2$ )	= $42 \text{ kg/m}^2$
Keramik 1cm	= $24 \text{ kg/m}^2$
Langit-langit + penggantung ( $0,11 + 0,07$ )	= $18 \text{ kg/m}^2$
Total	= $174 \text{ kg/m}^2 +$ <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> $= 1,70636 \text{ kN/ m}^2$

Plat bordes

Keramik 1cm	= $24 \text{ kg/m}^2$
-------------	-----------------------

$$\begin{aligned}
 \text{Spesi 2 cm} &= 42 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Total} &= 66 \text{ kg/m}^2 + \\
 &= \underline{0,64724 \text{ kN/m}^2}
 \end{aligned}$$

### b. Berat Tangga

$$\begin{aligned}
 \text{Dead} & \\
 \text{Atret} &= 0,275 \text{ m} \\
 \text{Optrade} &= 0,18 \text{ m} \\
 R (\sqrt{A^2 + O^2}) &= 0,32867 \\
 n \text{ anak tangga } (1/R) &= 3,2867 \\
 \text{Beton anak tangga } (0,5 \times A \times O \times n \times 2400) &= 180,728 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Keramik } \{(A+O) \times 1 \times n \times 24\} &= 33,2247 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Spesi } \{(A+O) \times n \times 1 \times 21\} &= 58,1431 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Total} &= 272,095 \text{ kg/m}^2 + \\
 &= \underline{2.6683 \text{ kN/m}^2} \\
 \\
 \text{Live} & \\
 (A \times 1 \times n \times 300) &= 251,01055 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 2.461572193 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

### c. Berat kolam

$$\begin{aligned}
 H = 1,2 \text{ m } (1,2 \times 1000) &= 1200 \text{ kN} \\
 H = 0,6 \text{ m } (0,6 \times 1000) &= 600 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

### d. Berat dinding

#### 1) Lantai 1

$$\text{BP1-B1, h : 3,5 m}$$

$$\text{Hs } (h - \text{BP1h}/2 - \text{B1h}/2) = 3 \text{ m}$$

$$\text{W } (Hs \times \frac{1}{2} \text{ batu}) = 7,35499 \text{ kN}$$

$$\text{BP1-B1} = \text{BP4-B1} = \text{BP1-B3} = \text{BP1-B6} = \text{BP4-B6}$$

$$\text{BP3-B1, h: 3,5 m}$$

$$\text{Hs } (h - \text{BP3h}/2 - \text{B1h}/2) = 2,95 \text{ m}$$

$$\text{W } (Hs \times \frac{1}{2} \text{ batu}) = 7,23241 \text{ kN}$$

$$\text{BP3-B1} = \text{BP3-B3}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{BP11-B1, } h : 3,5 \text{ m} \\
 & H_s ( h - \text{BP11}h/2 - \text{B1}h/2 ) = 2,65 \text{ m} \\
 & W ( H_s \times \frac{1}{2} \text{ batu } ) = 6,49691 \text{ kN} \\
 & \text{2) Lantai 2-11} \\
 & \text{B1-B1, } h : 3 \text{ m} \\
 & H_s ( h - \text{B1}h/2 - \text{B1}h/2 ) = 2,5 \text{ m} \\
 & W ( H_s \times \frac{1}{2} \text{ batu } ) = 6,12916 \\
 & \text{B1-B1} = \text{B4-B4} = \text{B3-B3} = \text{B6-B6} \\
 & \text{3) Lantai atap} \\
 & \text{B1-RB1, } h : 1,5 \text{ m} \\
 & H_s ( h - \text{B1}h/2 - \text{RB1}/2 ) = 1 \text{ m} \\
 & W ( H_s \times \frac{1}{2} \text{ batu } ) = 2,45166 \text{ kN} \\
 & \text{B1-RB1} = \text{B4-RB6} \\
 & \text{B1-RB3, } h : 1,5 \text{ m} \\
 & H_s ( h - \text{B1}h/2 - \text{RB3}h/2 ) = 0,95 \text{ m} \\
 & W ( H_s \times \frac{1}{2} \text{ batu } ) = 2,32908 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## 5. Beban Hidup

### a. Beban hidup plat bordes

Dari tabel Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung tahun 1983, beban hidup untuk bordes dengan fungsi “**apartemen**” sebesar  $300 \text{ kg/m}^2$ .

### b. Beban hidup plat lantai

Beban hidup plat yang digunakan menurut fungsi bangunannya sebagai “**apartemen**” dalam Peraturan Pembebanan Indonesia untuk gedung tahun 1983 adalah  $250 \text{ kg/m}^2$  dengan tebal plat lantai bangunan 12 cm.

## 6. Beban Gempa

### Berat Total Bangunan (WT)

Berat bangunan untuk setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Berat bangunan per lantai

Lantai	Berat Bangunan (kN)
Lantai 1	119888.176
Lantai 2	26548.282
Lantai 3	26548.282
Lantai 4	26548.282
Lantai 5	26548.282
Lantai 6	26548.282
Lantai 7	26548.282
Lantai 8	26548.282
Lantai 9	26548.282
Lantai 10	26548.282
lantai 11	20912.911
Atap	13019.333
<b>Wtotal</b>	<b>379735.625</b>

Sumber: analisis sap v 14.0.0 untuk berat bangunan perlantai

### C. Analisis Struktur

Untuk keperluan desain, analisis dari sistem struktur perlu diperhitungkan terhadap adanya kombinasi pembebanan (*Load combination*) dari beberapa kasus beban yang dapat bekerja secara bersamaan selama umur rencana. Menurut peraturan pembebanan Indonesia untuk rumah dan gedung 1983, ada dua kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau pada struktur yaitu: Kombinasi pembebanan tetap dan kombinasi pembebanan sementara. Kombinasi pembebanan tetap dianggap beban bekerja secara terus-menerus pada struktur selama umur rencana. Kombinasi pembebanan tetap disebabkan oleh bekerjanya beban mati dan beban hidup.

Kombinasi pembebanan sementara tidak bekerja secara terus-menerus pada stuktur, tetapi pengaruhnya tetap diperhitungkan dalam analisa struktur. Kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati, beban

hidup, dan beban gempa. Nilai-nilai tersebut dikalikan dengan suatu faktor magnifikasi yang disebut faktor beban, tujuannya agar struktur dan komponennya memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap berbagai kombinasi beban.

Dalam hal perencanaan ini penulis menggunakan pembebanan perhitungan gempa akibat gaya horizontal (gaya gempa) menggunakan peraturan SNI 1726:2012 dikarenakan pada perhitungan, gaya geser yang lebih besar akibat beban gempa didapat pada peraturan perencanaan pembebanan gempa untuk struktur bangunan gedung maupun non gedung tahun 2012.

Analisis struktur menggunakan data-data yang didapat dari pembebanan yang kemudian dilakukan kombinasi beban SNI 1726 tahun 2012 dengan menggunakan persamaan berikut :

1. Komb 1 : 1,4 DL
2. Komb 2 : 1,2 DL + 1,6 LL
3. Komb 3 : 1,2 DL + 1,6 LL  $\pm$  0,5 A
4. Komb 4 : 1,2 DL + 1 LL  $\pm$  1 EX  $\pm$  0,3 EY
5. Komb 5 : 1,2 DL + 1 LL  $\pm$  0,3 EX  $\pm$  1 EY
6. Komb 6 : 0,9 DL  $\pm$  1 EX  $\pm$  0,3EY
7. Komb 7 : 0,9 DL  $\pm$  0,3 EX  $\pm$  1EY

Maka kombinasi beban yang dimasukkan dalam SAP 2000 v14.0.0 adalah sebagai berikut :

- Komb 1 : 1,4 DL  
 Komb 2 : 1,2 DL + 1,6 LL  
 Komb 3 : 1,2 DL + 1 LL  $\pm$  1 EX  $\pm$  0,3 EY  
 Komb 4 : 1,2 DL + 1 LL  $\pm$  0,3 EX  $\pm$  1 EY

Data-data pembebanan pada perancangan struktur gedung Apartemen Malioboro City Yogyakarta setelah dirunning dengan program SAP 2000 V14.0.0 didapat gaya-gaya dalam dan gaya terfaktor yang nantinya digunakan untuk menentukan penulangan pada struktur portal gedung meliputi struktur kolom, balok, balok sloof, dan balok atap.

### D. Perhitungan Struktur Portal

Analisis struktur terdiri dari perancangan dimensi dan penulangan balok, kolom dan hubungan balok kolom. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan hasil perancangan yang memenuhi syarat kekuatan, sesuai dengan peraturan yang berlaku, dan dapat memberikan keamanan pada struktur.

Perancangan Penulangan balok dan kolom sebagai struktur sistem portal, menggunakan momen rencana dan gaya geser rencana yang diperoleh dari hasil Analisis SAP 2000 v14.0.0. Momen rencana dan gaya geser rencana dihitung dari kombinasi pembebanan struktur akibat beban mati, beban hidup dan beban gempa. Besarnya momen rencana digunakan untuk menghitung tulangan lentur yang diperlukan, sedangkan gaya geser rencana digunakan untuk menghitung jumlah tulangan geser.

#### 1. Hasil Output Permodelan Gedung SAP 200 v14.0.0

Berdasarkan data keluaran SAP 2000 v14.0.0, momen terbesar pada balok dapat dilihat pada tabel 5.2 sedangkan gaya geser balok dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.2 *Output* Momen Terbesar pada Balok

No. Balok	Tipe balok	Dimensi		Vu (N)	Mu (Nmm)	
		b (mm)	h (mm)		Tumpuan	Lapangan
1	BP1	500	700	690952	937276300	864729400
2	BP2	250	400	40613	30784800	22697300
3	BP3	300	700	462677	597521600	667401400
4	BP4	400	600	332607	426021400	353861800
5	BP6	500	700	4339039	1068046300	1010557300
6	BP7	700	600	326023	600763500	332713200
7	BP9	800	1000	2528083	2355223300	406829900
8	BP11	1000	1200	2435291	3149201100	3735732600
9	BP12	1300	1600	3654229	9136479100	3861395900
10	B1	500	800	1112397	1245078800	873570500
11	B2	300	600	332237	473520900	470213100
12	B3	300	700	352656	513549100	448335800
13	B4	400	650	843570	489694600	606173000
14	B5	300	400	274319	167035800	180755300

15	B6	300	500	164335	319559400	222468800
16	B7	500	700	497583	943255700	704617600
17	RB1	300	500	91618	153146300	111019600
18	RB2	300	500	94565	166050300	119607600
19	RB3	400	600	148802	244170500	182242700
20	RB4	300	600	22445	24864200	11871000
21	RB5	300	500	119105	190600300	149907300
22	RB6	300	500	144770	231931800	213095200

Tabel 5.3 Output Gaya Geser Terbesar pada Balok

No. Balok	Tipe balok	Dimensi		Vu (Nmm)	V Death (Nmm)	V life (Nmm)	Earthquake (N)
		b (mm)	h (mm)				
1	BP1	500	700	690952	329053	110408	551576
2	BP2	250	400	40613	19484	5792	65823
3	BP3	300	700	462677	121883	33916	508967
4	BP4	400	600	332607	77831	19258	260186
5	BP6	500	700	4339039	1928409	1024541	584150
6	BP7	700	600	326023	176237	2898	117651
7	BP9	800	1000	2528083	1410508	345858	402587
8	BP11	1000	1200	2435291	1214173	459656	806917
9	BP12	1300	1600	3654229	1580707	900775	367579
10	B1	500	800	1112397	277808	47139	888344
11	B2	300	600	332237	53465	17132	305548
12	B3	300	700	352656	71238	22301	316927
13	B4	400	650	843570	128000	32173	791805
14	B5	300	400	274319	52280	26817	255072
15	B6	300	500	164335	64043	29318	132684
16	B7	500	700	497583	88812	28045	517588
17	RB1	300	500	91618	52822	4699	47190
18	RB2	300	500	94565	34085	7675	47660
19	RB3	400	600	148802	90303	14416	29768
20	RB4	300	600	22445	13818	2230	9197
21	RB5	300	500	119105	69878	13298	22288
22	RB6	300	500	144770	79164	16151	76553

Berdasarkan data keluaran SAP 2000 v14.0.0, gaya aksial, gaya normal, gaya geser dan momen terbesar pada kolom dapat dilihat pada tabel 5.4.



Tabel 5.4 Gaya-gaya Dalam Akibat Pembebanan Struktur

No. Kolom	Tipe kolom	Dimensi		M1b (Nmm)	M2b (Nmm)	Pu (N)	Vu (N)	Vd (N)	VI (N)	Ve (N)
		b (mm)	h (mm)							
1	K1	1000	500	639	348160365	214101887	435200456.3	412657.8	38486.45	18851.63
2	K2	800	1000	929	1091091200	2013405400	21754925.85	1183597	292213	198762
3	K3	700	800	829	1430941000	1707429300	390570637.8	707786	320982	85031
4	K4	1000	700	729	787402100	984781000	396519764.3	474474	51052	19949
5	K5	600	1000	929	3853399300	6071351700	437802590.9	3171087	1403948	753474

### E. Perancangan Penulangan Balok Berdasarkan SNI – 03- 2847- 2002

Perancangan tulangan lentur dan tulangan geser balok, akan dirancang sesuai dengan masing-masing tipe balok yang ada. Penulangan balok dirancang berdasarkan momem dan gaya geser terbesar dari hasil analisis mekanika dengan menggunakan program SAP 2000 v7.42 pada tabel 5.14.

#### 1. Data struktur

Tipe Balok	= BP2
Dimensi struktur	= 250 x 400 mm
Selimit beton (s)	= 40 mm
Diameter tulangan lentur (D)	= 16 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ )	= 10 mm
$f'c$	= 25 MPa
$f_y$	= 400 MPa
Momen Tumpuan	= 30784800 Nmm ( <b>SAP</b> )
Momen Lapangan	= 22697300 Nmm ( <b>SAP</b> )
Gaya Geser	= 40613 N ( <b>SAP</b> )
$d'$	= $s + \Phi + \frac{1}{2} \cdot D$
	= $40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 16$
	= 58 mm
$d$	= $h - d'$
	= $400 - 58$
	= 342 mm
$L_b$	= 6000 mm

$$\begin{aligned}\beta &= 0,85 (f'c \leq 30 \text{ MPa}) \\ \phi &= 0,80 \\ f_{ys} &= 240 \text{ MPa}\end{aligned}$$

## 2. Persyaratan dimensi berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2002

$$\begin{aligned}h &\geq \frac{Lb}{21} \\ 400 \text{ mm} &\geq \frac{6000}{21} \\ 400 \text{ mm} &\geq 285,71 \text{ mm} && \text{OK} \\ b &\geq 250 \text{ mm} \\ 250 &\leq 250 \text{ mm} && \text{OK} \\ b/h &\geq 0,3 \\ 250/400 &\geq 0,3 \\ 0,6 &\geq 0,3 && \text{OK} \\ Lb/h &\geq 4 \\ 6000/400 &\geq 4 \\ 15 &\geq 4 && \text{OK}\end{aligned}$$

## 3. Perancangan Tulangan Lentur Tumpuan Balok

$$M_u = 30784800 \text{ Nmm (SAP)}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,003500\end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85 \left( \frac{600}{600 + 400} \right)}{400} \\ &= 0,0271\end{aligned}$$

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

$$= 0,02032$$

$$Mn > \frac{Mu}{\phi}$$

$$> \frac{Mu}{0,80} = \frac{30784800}{0,80} = 38481000 \text{ Nmm}$$

$$Mn > 30784800$$

$$38381000 > 30784800 \quad \mathbf{OK}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2}$$

$$= \frac{38481000}{250 \cdot 342^2} = 1,316 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c}$$

$$= \frac{400}{0,85 \cdot 25}$$

$$= 18,8235$$

$$\rho_{hit} = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right]$$

$$\rho_{hit} = \frac{1}{18,8235} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,8235 \cdot 1,316}{400}} \right]$$

$$= 0,00399$$

$$\left. \begin{array}{l} \rho_{min} = 0,003500 \\ \rho_{maks} = 0,020320 \\ \rho_{hit} = 0,00399 \end{array} \right\} \text{ digunakan } \rho_{hit}$$

$$A_S \text{ perlu} = \rho_{hit} \cdot b \cdot d$$

$$A_S \text{ perlu} = 0,00399 \cdot 250 \cdot 342$$

$$= 1737,386 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan D 16 } A_{S_{tul}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 201,062 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tul}}}} = 8,64 \text{ buah} \approx 9 \text{ buah}$$

Jumlah tulangan atas 5 buah

$$\text{Jarak tulangan atas} = \frac{250 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 5 \cdot 16}{5 - 1} = 17,5 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan bawah 4 buah

$$\text{Jarak tulangan bawah} = \frac{250 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 4 \cdot 16}{4 - 1} = 28,67 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan 9 D 16

$$A_{s_{\text{tot}}} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 1809,557 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan berdasarkan rasio :

$$A_s' > 0,5 \rho_{\text{hit}} \cdot b \cdot d$$

$$0,5 \cdot 1737,386 = 868,693$$

$$868,693 : A_{s_{\text{tul}}}$$

$$868,693 : 201,062 = 4,32 \approx 5 \text{ D } 16$$

$$A_{s_{\text{tot}}} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

Cek luas tulangan :

$$A_{s_{\text{min}}} = \frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} < 1809,557 \text{ mm}^2$$

$$= \frac{1,4 \cdot 250 \cdot 342}{400}$$

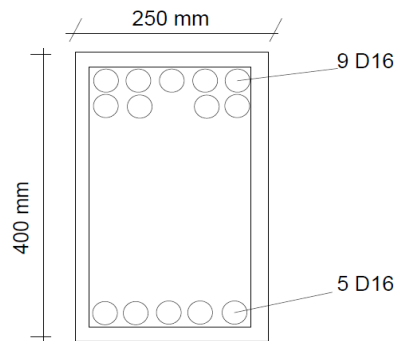
$$= 299,25 \text{ mm}^2 < 1809,557 \text{ mm}^2$$

**OK**

$$A_{s_{\text{maks}}} = \frac{n \cdot b_w \cdot d}{f_y} > 1809,557 \text{ mm}^2$$

$$= \frac{9 \cdot 250 \cdot 342}{400}$$

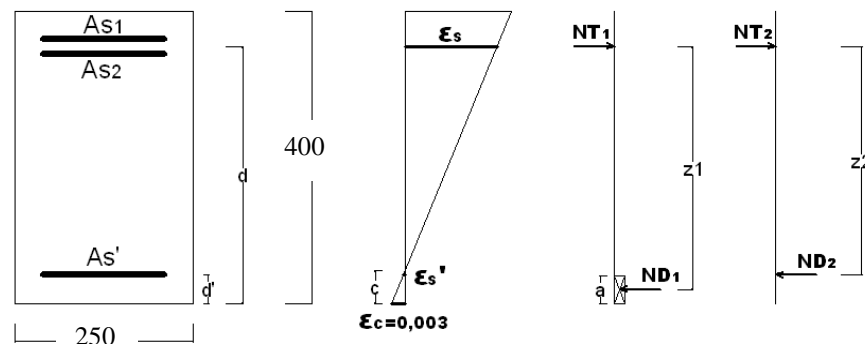
$$= 1923,75 \text{ mm}^2 > 1809,557 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$



Gambar 5.2 Penulangan tumpuan balok tipe BP-2

#### 4. Analisis Kapasitas Momen Layan Tumpuan Balok

Sebagai contoh perhitungan akan di hitung kapasitas momen layan balok BP2 di tumpuan dengan dimensi 250 x 400.



Gambar 5.3 Analisis kapasitas momen layan tumpuan balok

- a) Data hasil analisis mekanika (Tabel 5.2)

$$M_u = 30784800 \text{ Nmm}$$

- b) Data mutu beton dan mutu baja

$$f_y = 400 \text{ MPa (Tulangan lentur)}$$

$$f_{ys} = 240 \text{ MPa (Tulangan geser)}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85$$

c) Data tulangan dan selimut beton yang digunakan

$$T_1 = 16 \text{ mm}$$

$$T_t = 10 \text{ mm}$$

$$S = 40 \text{ mm}$$

$$A_s = 9 \text{ D } 16 = 1809,557 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'} = 5 \text{ D } 16 = 1005,31 \text{ mm}^2$$

$$d' = s + T_t + \frac{1}{2} T_1$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 16 = 58,0 \text{ mm}$$

d) *Checking* kapasitas momen layan tumpuan balok

Dari tulangan yang terpasang kemudian dilakukan pemeriksaan kuat momen yang dapat dipikul balok dengan asumsi tulangan tarik leleh ( $f_s = f_y$ ) dan tekan belum leleh ( $f_{s'} \neq f_y$ ).

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \times f_c' \times \beta \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{(A_s - A_{s'}) \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{(1809,557 - 1005,31) \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} = 60,555 \text{ mm}$$

Letak garis netral (c),

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{60,555}{0,85} = 71,24 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{342 - 71,24}{71,24} \times 0,003$$

$$= 0,011401 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (asumsi benar, tulangan tarik leleh)}$$

$$\epsilon_{s'} = \frac{c - d'}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{71,24 - 58}{71,24} \times 0,003$$

$$= 0,00056 < \epsilon_y = 0,002 \text{ (asumsi salah, tulangan tekan belum leleh)}$$

Pemeriksaan asumsi,

kerena  $\epsilon_s > \epsilon_y > \epsilon_s'$ , tulangan baja tarik telah melampaui batas leleh tetapi baja tekan belum. Dengan demikian ternyata anggapan pada langkah awal tidak benar. Maka diperlukan letak garis netral dengan menggunakan kesetimbangan gaya-gaya horizontal ( $\sum H_F = 0$ ),  $N_T = N_{D1} + N_{D2}$ , yaitu dengan mencari nilai  $c$  dengan rumus sebagai berikut:

$$c = \pm \sqrt{(Q + R^2)} - R$$

$$R = \frac{600 \times A_s' - A_s \times f_y}{1,7 \times f_c' \times b \times \beta}$$

$$Q = \frac{600 \times d' \times A_s'}{0,85 \times f_c' \times b \times \beta}$$

Maka,

$$R = \frac{600 \times 1005,31 - 1809,557 \times 400}{1,7 \times 25 \times 250 \times 0,85}$$

$$= -13,357 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{600 \times 58 \times 1005,31}{0,85 \times 25 \times 250 \times 0,85}$$

$$= 7747,49 \text{ mm}$$

$$c = \pm \sqrt{(7747,49 + (-13,357)^2)} - (-13,357)$$

$$= 102,385 \text{ mm}$$

Demikian nilai  $c$  tersebut, nilai-nilai lain yang belum diketahui dapat dicari.

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \times 2.10^5$$

$$= \frac{102,385 - 58}{102,385} \times 600$$

$$= 260,108 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa}$$

**OK**

$$a = \beta \times c$$

$$= 0,85 \times 102,385$$

$$= 87,027 \text{ mm}$$

Hasil analisis gaya dan momen nominal lapangan balok ditampilkan dalam tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5 Analisis gaya dan momen nominal tumpuan balok

Gaya (N)	Jarak (mm)	Momen (Nmm) ( $ND_n \times Z_i$ )
$ND_1 = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 462334,08$	$Z_1 = d - (a/2) = 298,486$	$Mn_1 = 138000343,4$
$ND_2 = A_s' \cdot f_s' = 261488,4862$	$Z_2 = d - c = 239,615$	$Mn_2 = 62656551,35$
$\Sigma ND = 723822,95$		$\Sigma Mn = 200656894,7$

Syarat :

$$Mr = \phi Mn > Mu$$

$$= 0,8 \times 200656894,7$$

$$= 160525515,8 > 30784800 \text{ Nmm}$$

**OK**

## 5. Perancangan Tulangan Lentur Lapangan Balok

$$Mu = 22697300 \text{ Nmm (SAP)}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400} = 0,003500$$

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



$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,0271$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,020325$$

$$Mn > \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn > \frac{22697300}{0,80} = 28371625 \text{ Nmm}$$

$$28371625 > 22697300$$

**OK**

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2}$$

$$Rn = \frac{28371625}{250 \cdot 342^2} = 0,970 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c}$$

$$= \frac{400}{0,85 \cdot 25}$$

$$= 18,8235$$

$$\rho_{hit} = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right]$$

$$\rho_{hit} = \frac{1}{18,8235} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18,8235 \cdot 0,970}{400}} \right]$$

$$= 0,0025$$

$$\rho_{min} = 0,003500$$

$$\rho_{maks} = 0,020325$$

$$\rho_{hit} = 0,0025$$

} digunakan  $\rho_{maks}$

$$A_{S \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_{S \text{ perlu}} = 0,020325 \cdot 150 \cdot 342$$

$$= 1737,39 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan D 16 } A_{S_{tul}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 201,062 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_{S_{perlu}}}{A_{S_{tul}}} = 8,64 \approx 9 \text{ buah}$$

Jumlah tulangan atas = 5 buah

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan atas} &= \frac{B - 2 \cdot S - 2 \cdot \phi - n_{baris} \cdot D}{n_{baris} - 1} \\ &= \frac{250 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 5 \cdot 16}{5 - 1} = 17,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan bawah = 4 buah

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan atas} &= \frac{B - 2 \cdot S - 2 \cdot \phi - n_{baris} \cdot D}{n_{baris} - 1} \\ &= \frac{250 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 4 \cdot 16}{4 - 1} = 28,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan 9 D 16

$$A_{S_{tot}} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 1809,557 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan berdasarkan rasio :

$$A_s' > 0,5 \rho_{maks} \cdot b \cdot d$$

$$0,5 \cdot 1737,39 = 868,695$$

$$868,695 : A_{S_{tul}}$$

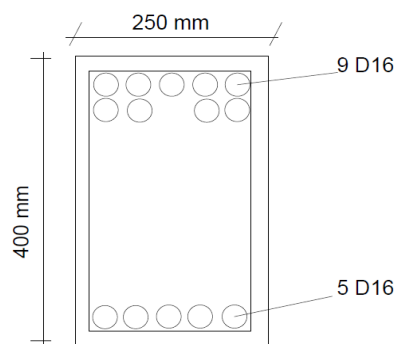
$$868,695 : 201,062 = 4,32 \approx 5 \text{ D 16}$$

$$A_{S_{tot}} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 1005,37 \text{ mm}^2$$

Cek luas tulangan :

$$A_{S_{min}} = \frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} < 1809,557 \text{ mm}^2$$

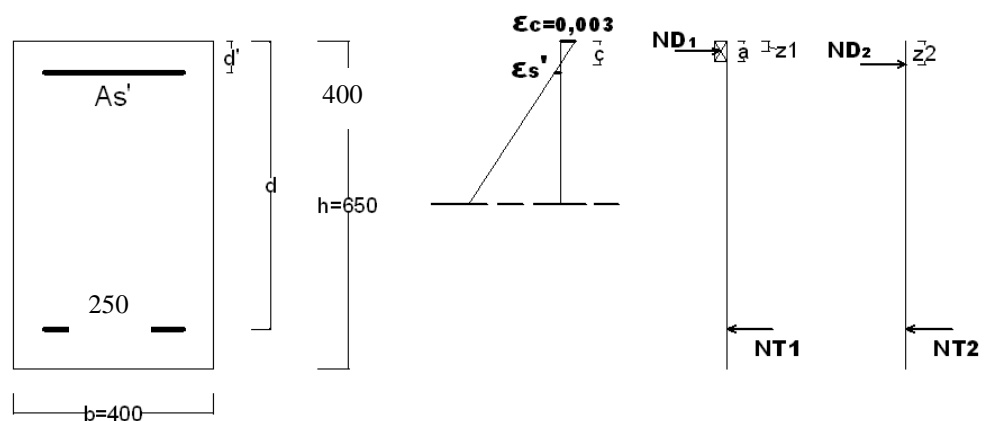
$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,4 \cdot 250 \cdot 342}{400} \\
 &= 299,25 \text{ mm}^2 < 1809,557 \text{ mm}^2 && \text{OK} \\
 A_{s_{maks}} &= \frac{n \cdot b_w \cdot d}{f_y} > 1809,557 \text{ mm}^2 \\
 &= \frac{9 \cdot 250 \cdot 342}{400} \\
 &= 1923,75 \text{ mm}^2 > 1809,557 \text{ mm}^2 && \text{OK}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.4 Penulangan lapangan balok tipe BP-2

## 6. Analisis Kapasitas Momen Layan Lapangan Balok

Sebagai contoh perhitungan akan di hitung kapasitas momen layan balok



BP-2 di lapangan dengan dimensi 250 x 400.

Gambar 5.5 Analisis kapasitas momen layan lapangan balok

- a) Data hasil analisis mekanika (Tabel 5.2)

$$M_u = 22697300 \text{ Nmm}$$

- b) Data mutu beton dan mutu baja

$$f_y = 400 \text{ MPa (Tulangan lentur)}$$

$$f_{ys} = 240 \text{ MPa (Tulangan geser)}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85$$

- c) Data tulangan dan selimut beton yang digunakan

$$T_1 = 16 \text{ mm}$$

$$T_t = 10 \text{ mm}$$

$$S = 40 \text{ mm}$$

$$A_s = 9 \text{ D } 16 = 1809,557 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'} = 5 \text{ D } 16 = 1005,37 \text{ mm}^2$$

$$d' = s + T_t + \frac{1}{2} T_1$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 16 = 58,0 \text{ mm}$$

- d) *Checking* kapasitas momen layan lapangan balok

Dari tulangan yang terpasang kemudian dilakukan pemeriksaan kuat momen yang dapat dipikul balok dengan asumsi tulangan tarik leleh ( $f_s = f_y$ ) dan tekan belum leleh ( $f'_s \neq f_y$ ).

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \times f'_c \times \beta \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{(A_s - A_{s'}) \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{(1809,557 - 1005,31) \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} = 60,555 \text{ mm}$$

Letak garis netral (c),

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{60,555}{0,85} = 71,24 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{342 - 71,24}{71,24} \times 0,003 \\
&= 0,011401 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (asumsi benar, tulangan tarik leleh)} \\
\epsilon_s' &= \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{71,24 - 58}{71,24} \times 0,003 \\
&= 0,00056 < \epsilon_y = 0,002 \text{ (asumsi salah, tulangan tekan belum leleh)}
\end{aligned}$$

Pemeriksaan asumsi,

kerena  $\epsilon_s > \epsilon_y > \epsilon_s'$ , tulangan baja tarik telah melampaui batas leleh tetapi baja tekan belum. Dengan demikian ternyata anggapan pada langkah awal tidak benar. Maka diperlukan letak garis netral dengan menggunakan kesetimbangan gaya-gaya horizontal ( $\sum H_F = 0$ ),  $N_T = N_{D1} + N_{D2}$ , yaitu dengan mencari nilai  $c$  dengan rumus sebagai berikut:

$$c = \pm \sqrt{(Q + R^2)} - R$$

$$R = \frac{600 \times A_s' - A_s \times f_y}{1,7 \times f_c' \times b \times \beta}$$

$$Q = \frac{600 \times d' \times A_s'}{0,85 \times f_c' \times b \times \beta}$$

Maka,

$$R = \frac{600 \times 1005,31 - 1809,557 \times 400}{1,7 \times 25 \times 250 \times 0,85}$$

$$= -13,357 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{600 \times 58 \times 1005,31}{0,85 \times 25 \times 250 \times 0,85}$$

$$= 7747,49 \text{ mm}$$

$$c = \pm \sqrt{(7747,49 + (-13,357)^2)} - (-13,357)$$

$$= 102,385 \text{ mm}$$

Demikian nilai  $c$  tersebut, nilai-nilai lain yang belum diketahui dapat dicari.

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \times 2 \cdot 10^5$$

$$= \frac{102,385 - 58}{102,385} \times 600$$

$$= 260,108 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa}$$

**OK**

$$a = \beta \times c$$

$$= 0,85 \times 102,385$$

$$= 87,027 \text{ mm}$$

Hasil analisis gaya dan momen nominal lapangan balok ditampilkan dalam tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.6 Analisis gaya dan momen nominal lapangan balok

Gaya (N)	Jarak (mm)	Momen (Nmm) ( $ND_n \times Z_i$ )
$ND_1 = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 462334,08$	$Z_1 = d - (a/2) = 298,486$	$M_{n1} = 138000343,4$
$ND_2 = A_s' \cdot f_s' = 261488,4862$	$Z_2 = d - c = 239,615$	$M_{n2} = 62656551,35$
$\Sigma ND = 723822,95$		$\Sigma M_n = 200656894,7$

Syarat :

$$M_r = \phi M_n > M_u$$

$$= 0,8 \times 200656894,7$$

$$= 160525515,8 > 22697300 \text{ Nmm}$$

**OK**

Tabel 5.7 Hasil Perancangan Tulangan Lentur Balok SNI 03 – 2847 - 2002

No. Balok	Tipe Balok	Dimensi (mm)	Lokasi	Tulangan D (mm)	Jumlah Tulangan		Mu (Nmm)
					Atas	Bawah	
1	BP-1	500x700	Tumpuan	25	6	6	937276300
			Lapangan	25	6	5	864729400
2	BP-2	250x400	Tumpuan	16	5	4	30784800
			Lapangan	16	5	4	22697300
3	BP-3	300x700	Tumpuan	19	7	6	597521600
			Lapangan	19	7	7	667401400
4	BP-4	400x600	Tumpuan	16	7	7	426021400
			Lapangan	16	6	6	353861800
5	BP-6	500x700	Tumpuan	25	7	7	1068046300
			Lapangan	25	7	6	1010557300
6	BP-7	700x600	Tumpuan	25	4	4	600763500
			Lapangan	25	3	2	332713200
7	BP-9	800x1000	Tumpuan	25	9	9	2355223300
			Lapangan	25	3	3	406829900
8	BP-11	1000x1200	Tumpuan	29	8	7	3149201100
			Lapangan	29	9	9	3735732600
9	BP-12	1300x1600	Tumpuan	36	11	10	9136479100
			Lapangan	36	5	4	3861395900
10	B-1	500x800	Tumpuan	25	7	6	1245078800
			Lapangan	25	5	4	873570500
11	B-2	300x600	Tumpuan	19	6	6	473520900
			Lapangan	19	6	6	470213100
12	B-3	300x700	Tumpuan	19	6	5	513549100
			Lapangan	19	5	4	448335800
13	B-4	400x650	Tumpuan	19	6	5	489694600
			Lapangan	19	7	7	606173000
14	B-5	300x400	Tumpuan	16	5	5	167035800
			Lapangan	16	6	5	180755300
15	B-6	300x500	Tumpuan	19	5	5	319559400
			Lapangan	19	4	3	222468800
16	B-7	500x700	Tumpuan	25	6	6	943255700
			Lapangan	25	4	4	704617600
17	RB-1	300x500	Tumpuan	16	3	3	153146300
			Lapangan	16	3	2	111019600
18	RB-2	300x500	Tumpuan	13	5	5	166050300
			Lapangan	13	4	3	119607600

19	RB-3	400x600	Tumpuan	16	4	4	244170500
			Lapangan	16	3	3	182242700
20	RB-4	300x600	Tumpuan	16	2	2	24864200
			Lapangan	16	3	0	11871000
21	RB-5	300x500	Tumpuan	16	4	4	190600300
			Lapangan	16	3	3	149907300
22	RB-6	500x500	Tumpuan	16	5	5	231931800
			Lapangan	16	5	4	213095200

## 7. Perencanaan Penulangan terhadap Geser Balok

### Data Struktur

Lb : 6000 mm

Balok, Ki : 400 mm

Balok, Ka : 400 mm

Ln :  $6000 - 2 \cdot (1/2 \cdot 400) = 5600$  mm

Fy : 400 MPa > Tulangan Ø 13 mm

D<sub>tul</sub> : 16 mm

Ø<sub>tul</sub> : 10 mm

b/h : 250/400 mm

Φ : koefisien reduksi ( 0,55 ) .....**Pasal 11.3 SNI 03;2847-2002**

### Gaya Geser Hasil *Running* Analisis SAP 2000. V14.0.0

V<sub>ult</sub> : 40613 N

V<sub>Death</sub> : 19484 N

V<sub>Live</sub> : 5792 N

V<sub>E</sub> : 65823 N

Mn<sub>ki</sub>= Mn<sub>ka</sub> : As.fy.(d - a/2) .....**Pasal 14 SNI 03;2847-2002**

:  $603,186.400 \cdot (342 - 60,551/2)$

: 75210618,14 Nmm

Vg :  $1,2 V_D + 1,0 V_L$

:  $1,2 \times 19484 + 1,0 \times 5792$

: 29172,8 N



**Perencanaan Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis**

$$\begin{aligned}
 V_{U,1} &= 40613 \text{ N} \\
 Mn_{ki} = Mn_{ka} &= 75210618,14 \text{ N} \\
 M_{kap,b} &= \phi_o \times M_{nak,b} \\
 &= 1,25 \times 75210618,14 \\
 &= 9413272,68 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

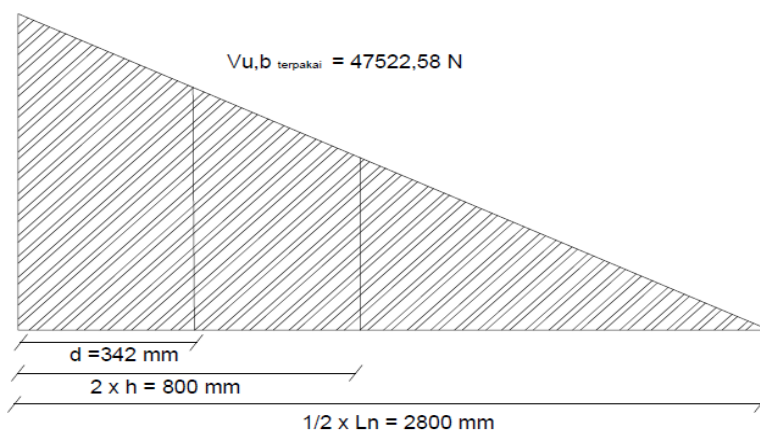
$$\begin{aligned}
 V_{U,2} &= 0,7x \frac{M_{kap,b} + M_{kap,b'}}{ln} + 1,05Vg \\
 &= 0,7x \frac{2x9413272,68}{5600} + 1,05 \cdot 29172,8 \\
 &= 54134,76 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tetapi tidak lebih besar dari :

$$\begin{aligned}
 V_{U,3} &= 1,05 \left( V_{D,b} + V_{L,b} + \frac{4}{K} x V_{E,b} \right) \\
 &= 1,05 \left( 19484 + 5792 + \frac{4}{1} x 65823 \right) \\
 &= 302994,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_{U,2} = 54134,76 \text{ N}$$

$$Vu,2 = 54134,76 \text{ N}$$



$$Vu,b \text{ terpakai} = \frac{0,5 \times ln - d}{0,5 \times ln} \times Vu,b$$

$$= \frac{0,5 \times 5600 - 342}{0,5 \times 5600} \times 54134,76 \text{ N}$$

$$= 47522,584 \text{ N}$$

### Cek Kekuatan Geser

Dicoba menggunakan  $V_c = 0$ , maka

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{47522,584}{0,55} - 0$$

$$= 86404,6984 \text{ N}$$

$$\frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d = \frac{2}{3} \times \sqrt{25} \times 400 \times 342 = 285000 \text{ N}$$

$$V_s < \frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$86404,6984 \text{ N} < 285000 \text{ N}$$

**OK**

Asumsi dipasang diameter sengkang  $2 \phi$  10 mm

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 157,079 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang tidak boleh lebih besar dari :

$$S \leq \frac{d_b}{4} = \frac{342}{4} = 85,5 \text{ mm}$$

$$S \leq 9 \times D \text{ mm} = 9 \times 16 = 144 \text{ mm}$$

$$S \leq 24 \times \phi \text{ mm} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 200 \text{ mm}$$

Mencari jarak tulangan geser dengan menggunakan rumus:

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

$$= \frac{157,079 \cdot 240 \cdot 342}{86404,6984}$$

$$= 149,217 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 140 \text{ mm} < S_{\max} = 200 \text{ mm}$$

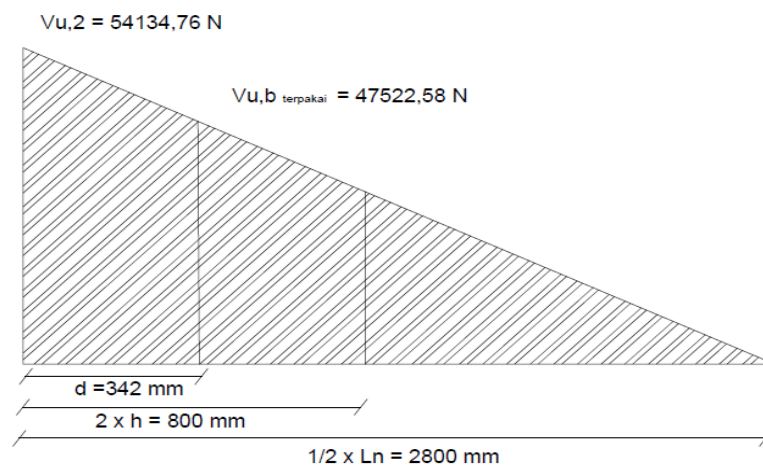
### Cek Bentang Tulangan Geser

$$V_{S_{pakai}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$= \frac{157,079 \cdot 240 \cdot 342}{140}$$

$$= 92093,545 \text{ N} > 86404,6984 \text{ N} \quad \text{OK}$$

### Perancangan Tulangan Geser di Luar Daerah Sendi Plastis



$$\begin{aligned} V_{u,b \text{ terpakai}} &= \frac{0,5 \times L_n - 2h}{0,5 \times L_n} \times V_{u,b} \\ &= \frac{0,5 \times 5600 - 2 \times 342}{0,5 \times 5600} \times 54134,758 \\ &= 40910,4101 \text{ N} \end{aligned}$$

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

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 400 \times 342 = 71250 \text{ N}$$

$$\frac{2}{3} \times \sqrt{f'c} \times bw \times d = \frac{2}{3} \times \sqrt{25} \times 400 \times 342 = 285000 \text{ N}$$

### Cek Kekuatan Geser

Dicoba menggunakan  $V_c$  diluar sendi plastis = 71250 N, maka

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{40910,4101}{0,55} - 71250$$

$$= 3132,564 \text{ N}$$

$$V_s < \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c} \times bw \times d$$

$$3132,564 \text{ N} < 285000 \text{ N}$$

**OK**

Asumsi dipasang diameter sengkang 1  $\phi$  10 mm

$$A_v = 1 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 78,540 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang tidak boleh lebih besar dari :

$$S \leq \frac{d_b}{2} = \frac{342}{2} = 171 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 400 \text{ mm}$$

Mencari jarak tulangan geser dengan menggunakan rumus:

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

$$= \frac{78,540 \cdot 342}{3132,564}$$

$$= 2057,914 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm} < S_{\max} = 200 \text{ mm}$$

Diambil jarak 150 mm karena jumlah tulangan = 1.

### Cek Bentang Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
 V_{s_{pakai}} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \\
 &= \frac{78,540.240.342}{150} \\
 &= 42977,088 \text{ N} > 325569,00 \text{ N} \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

Pada daerah di luar plastis dipasang sengkang  $1\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$

Hasil perhitungan tulangan geser balok di daerah sendi plastis dan di luar daerah sendi plastis pada balok dimensi berbeda, ditampilkan dalam tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Hasil Perancangan Tulangan Geser Balok SNI 03 – 2847 - 2002

No. Balok	Tipe Balok	Dimensi (mm)	Lokasi	$Vu_p$ , terpakai (N)	Vc (N)	Vs (N)	Tul. Terpakai (mm)
1	BP-1	500x700	Tumpuan	567917.2272	0	1802488.785	15 $\emptyset$ 10 - 100
			Lapangan	400496.5417	265625	3484811.651	29 $\emptyset$ 10 - 100
2	BP-2	250x400	Tumpuan	47522.58414	0	506514.4955	11 $\emptyset$ 10 - 140
			Lapangan	40910.4101	71250	859539.75	20 $\emptyset$ 10 - 150
3	BP-3	300x700	Tumpuan	418734.2178	0	1810971.085	15 $\emptyset$ 10 - 100
			Lapangan	294539.1418	160125	1433685.442	19 $\emptyset$ 10 - 160
4	BP-4	400x600	Tumpuan	322297.4137	0	1532468.896	15 $\emptyset$ 10 - 100
			Lapangan	244934.6156	180666.67	1362194.575	20 $\emptyset$ 10 - 150
5	BP-6	500x700	Tumpuan	3105658.007	0	14419910.28	48 $\emptyset$ 10 - 40
			Lapangan	2469559.379	265625	6361725.124	45 $\emptyset$ 10 - 30
6	BP-7	700x600	Tumpuan	386623.2992	0	3039490.892	21 $\emptyset$ 10 - 70
			Lapangan	292697.865	313541.67	1576032.315	21 $\emptyset$ 10 - 135
7	BP-9	800x1000	Tumpuan	1876772.249	0	5301437.603	24 $\emptyset$ 10 - 80
			Lapangan	1245570.82	625000	10602875.21	48 $\emptyset$ 10 - 80
8	BP-11	1000x1200	Tumpuan	2209088.104	0	16295441.09	38 $\emptyset$ 10 - 50
			Lapangan	1211336.38	947916.67	8147720.547	38 $\emptyset$ 10 - 100
9	BP-12	1300x1600	Tumpuan	3043782.9	0	21946914.95	38 $\emptyset$ 10 - 50
			Lapangan	898854.0119	1659666.7	5005436.743	26 $\emptyset$ 10 - 150
10	B-1	500x800	Tumpuan	471207.503	0	2085232.124	15 $\emptyset$ 10 - 100
			Lapangan	298528.977	307291.67	3285820.316	26 $\emptyset$ 10 - 110
11	B-2	300x600	Tumpuan	400527.6603	0	1222582.197	12 $\emptyset$ 10 - 100
			Lapangan	266023.0313	135125	1945017.132	21 $\emptyset$ 10 - 110

12	B-3	300x700	Tumpuan	250204.0394	0	804876.0378	10 $\phi$ 10 - 150
			Lapangan	175994.4134	160125	1609752.076	20 $\phi$ 10 - 150
13	B-4	400x650	Tumpuan	320755.8063	0	926071.1426	13 $\phi$ 10 - 100
			Lapangan	216082.5244	196833.33	2327320.398	23 $\phi$ 10 - 110
14	B-5	300x400	Tumpuan	110250.5932	0	972637.0856	15 $\phi$ 10 - 100
			Lapangan	94487.41612	86000	622487.7348	21 $\phi$ 10 - 140
15	B-6	300x500	Tumpuan	248510.0684	0	996387.526	12 $\phi$ 10 - 100
			Lapangan	184474.5696	110125	3795762.004	32 $\phi$ 10 - 70
16	B-7	500x700	Tumpuan	332392.0898	0	1602212.253	12 $\phi$ 10 - 90
			Lapangan	176869.1854	265625	1121548.577	14 $\phi$ 10 - 150
17	RB-1	300x500	Tumpuan	113931.9128	0	555433.5812	10 $\phi$ 10 - 150
			Lapangan	92575.71881	235125	1249725.558	21 $\phi$ 10 - 150
18	RB-2	300x500	Tumpuan	133121.7662	0	385835.9101	6 $\phi$ 10 - 165
			Lapangan	64190.64733	235500	557318.5367	10 $\phi$ 10 - 165
19	RB-3	400x600	Tumpuan	188776.3445	0	1300276.639	14 $\phi$ 10 - 110
			Lapangan	143463.3335	234750	1807527.416	23 $\phi$ 10 - 150
20	RB-4	300x600	Tumpuan	43167.38435	0	681097.2873	8 $\phi$ 10 - 120
			Lapangan	23389.93522	110500	885426.4735	13 $\phi$ 10 - 150
21	RB-5	300x500	Tumpuan	177036.4421	0	555433.5812	8 $\phi$ 10 - 120
			Lapangan	116046.4909	110875	624862.7788	12 $\phi$ 10 - 160
22	RB-6	500x500	Tumpuan	199441.3226	0	999780.4461	12 $\phi$ 10 - 100
			Lapangan	147829.4581	180666.67	1199736.535	18 $\phi$ 10 - 125

## F. Perancangan Peulangan Kolom Berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2002

Berdasarkan data keluaran SAP 2000 v14.0.0, gaya aksial, gaya geser dan momen terbesar pada kolom dapat dilihat pada

### 1. Data Struktur

Tipe kolom	= K-1
Dimensi kolom	= 1000 × 1000 mm
Tinggi kolom (H)	= 3500 mm
Selimut beton (ds)	= 40 mm
Diameter tulangan lentur (D)	= 36 mm
Diameter tulangan geser ( $\phi$ )	= 10 mm
$f'_c$	= 30 MPa
$f'_y$	= 400 MPa
$d'$	= $s + \phi + \frac{1}{2}.D$
	= 40 + 10 + $\frac{1}{2}.13 = 71$ mm

$$\begin{aligned}
 d &= h - d' \text{ mm} \\
 &= 1000 - 71 = 929 \text{ mm} \\
 M_{1b} &= 1091091200 \text{ Nmm} \\
 M_{2b} &= 2013405400 \text{ Nmm} \\
 P_u &= 1183597 \text{ N}
 \end{aligned}$$

## 2. Persyaratan Dimensi Berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2002

$$\begin{aligned}
 b &\geq 300 \text{ mm} \\
 1000 &\geq 300 \text{ mm} && \mathbf{OK} \\
 b/h &\geq 0,4 \\
 1000/1000 &\geq 0,4 \\
 1 &\geq 0,4 && \mathbf{OK} \\
 H_k/b &\leq 16 \\
 3500/1000 &\leq 16 \\
 3,5 &\leq 16 && \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

## 3. Kontrol terhadap kelangsingan kolom.

$$\begin{aligned}
 K &= 1 \text{ (kedua ujung jepit ada gerak lateral)} \\
 r &= 0,3 \cdot h \\
 &= 0,3 \cdot 1000 = 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Goyangan struktur ditahan terhadap goyangan kesamping oleh plat lantai yang fungsinya sebagai diafragma, sehingga syarat kelangsingan dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 \frac{k \cdot l_u}{r} &< \left( 34 - 12 \cdot \left( \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right) \right) \\
 \frac{1 \times 3500}{300} &< \left( 34 - 12 \cdot \left( \frac{1091091200}{2013405400} \right) \right) \\
 11,67 &< 25,497
 \end{aligned}$$

Dengan demikian efek dari kelangsingan dari kolom dapat diabaikan.

#### 4. Gaya aksial maksimum kolom

Ditaksir ukuran kolom 1000 mm x 1000 mm dengan jumlah penulangan rasio ( $\rho_g$ ) = 2,5 %, sehingga :

$$A_{st} = \rho \times b \times d = 0,025 \times 1000 \times 1000 = 25000 \text{ mm}^2$$

Dicoba dengan tulangan 24D22 pada masing-masing sisi kolom

$$\begin{aligned} A_{st} &= 24 \times 0,25 \times \pi \times 36^2 \\ &= 24429,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{24429,02}{1000 \times 929} \times 100\%$$

$$= 2,6 \% > 0,01 \quad \mathbf{OK}$$

$$A_{st_{x-x}} \approx 2A_{st_{y-y}}$$

$$A_s = A_s'$$

$$= 12\emptyset 36$$

$$= 12214,512 \text{ mm}^2$$

Batas peningkatan faktor reduksi  $\phi$  :

$$\frac{h - d' - ds}{h} = \frac{1000 - 71 - 40}{1000}$$

$$= 0,889 > 0,65, \text{ maka faktor reduksi } (\phi) \text{ dipakai } 0,65$$

$$\begin{aligned} A_g &= 1000 \times 1000 \\ &= 1000000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,1 \cdot f_c' \cdot A_g &= 0,1 \cdot 30 \cdot 1000000 \\ &= 3000000 \text{ N} \end{aligned}$$

Beban aksial maksimum  $\phi Pn_{max}$  yang dapat dipikul oleh kolom :

$$\begin{aligned} \phi Pn_{max} &= 0,8 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \\ &= 0,8 \cdot 0,65 \cdot (0,85 \cdot 30 \cdot (1000000 - 25000) + 25000 \cdot 400) \\ &= 18128500 \text{ N} > 3000000 \text{ N}, \emptyset \text{ tetap} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$



## 5. Kuat momen kolom

Peninjauan terhadap kondisi seimbang sebagai batas kelelahan tulangan tarik :

$$\begin{aligned}
 cb &= \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \\
 &= \frac{600}{600 + 400} \cdot 929 \\
 &= 557,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= 0,85 \cdot 557,4 \\
 &= 473,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s' &= \frac{cb - d'}{cb} \cdot 0,003 \\
 &= \frac{557,4 - 71}{557,4} \cdot 0,003 \\
 &= 0,0026
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s' &= \varepsilon_s' \times E_s \\
 &= 0,0026 \times 200000 = 520 \text{ MPa} > f_y = 400 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dipakai  $f_s' = f_y = 400 \text{ MPa}$

Karena  $\varepsilon_s' > \varepsilon_y = 0,02$  dapat disimpulkan bahwa tulangan baja tekan sudah meluluh, maka digunakan pasal 12.2.(4) SNI 2847 - 2002

$$f_s' = f_y$$

$$\begin{aligned}
 N_{D1} &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\
 &= 0,85 \times 30 \times 473,8 \times 1000 \\
 &= 12081645 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{D2} &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
 &= 12214,512 \times (400 - 0,85 \times 30) \\
 &= 4574334,744 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_T &= A_s \cdot f_y \\
 &= 12214,514 \times 400 \\
 &= 4885805,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pn_b &= N_{D1} + N_{D2} - N_T \\
 &= 12081654 + 4574334,744 - 4885805,6 \\
 &= 11770174,94 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi Pn_b &= 0,65 \times 11770174,94 \\
 &= 711770174,94 \text{ N} > 1183597 \text{ N} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

**Check Kemampuan Kolom Menahan Beban :**

Syarat :

$$\begin{aligned}
 M_{uk} &= 1,05 \left[ M_{dk} + M_{lk} \pm \frac{4,0}{K} M_{ek} \right] \\
 M_{d,k} &= 344074600 \text{ Nmm} \\
 M_{l,k} &= 238557400 \text{ Nmm} \\
 M_{e,k} &= 2051597000 \text{ Nmm} \\
 M_{uk} &= 1,05 \left[ 344074600 + 238557400 + \frac{4,0}{1} \times 2051597000 \right] \\
 &= 9228471000 \text{ Nmm} \\
 M_{u,terpakai} &= 9228471000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi Pn &\geq \frac{Ag \times f'_c}{10} \\
 711770174,94 &\geq \frac{1000 \times 1000 \times 30}{10} \\
 711770174,94 &\geq 3000000 \text{ N} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \times \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s' \times f_y \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 0,85 \times 30 \times 1000 \times 473,8 \times \left( \frac{1000}{2} - \frac{473,8}{2} \right) \\
 &\quad + 24429,02 \times 400 \times \left( \frac{1000}{2} - 71 \right) + 24429,02 \times 400 \\
 &\quad \times \left( 929 - \frac{1000}{2} \right) = 11562782407 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi Mn = 0,8 \times Mn = 9250225926 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn \geq Mu_{\text{terpakai}} = 9228471000 \text{ Nmm}$$

**OK**

Hasil perhitungan tulangan lentur kolom dengan menggunakan cara yang sama pada kolom dimensi berbeda, ditampilkan dalam tabel 5.9 berikut ini :

Tabel 5.9 Hasil Perancangan Tulangan Lentur Kolom SNI 03 – 2847 - 2002

No. Kolom	Tipe kolom	Dimensi		M1b (Nmm)	M2b (Nmm)	Pu (N)	Ø tul.	Jumlah Tul.	ØPn (N)
		b (mm)	h (mm)						
1	K1	1000	1000	1091091200	2013405400	1183597	36	24	7650613.7
2	K2	800	900	1430941000	1707429300	707786	36	20	5437482.4
3	K3	700	800	787402100	984781000	474474	36	16	4178723.1
4	K4	1000	1000	3853399300	6071351700	3171087	36	18	7701227.6
5	K5	600	600	357462300	244317500	170727	22	6	2714879

## 6. Penulangan geser kolom

Perancangan tulangan geser kolom K-1

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$d = 929 \text{ mm}$$

$$b_w = 1000 \text{ mm}$$

$$h_n = 3500 \text{ mm}$$

$$N_u = 1183597 \text{ N}$$

$$V_{d,k} = 292213 \text{ N}$$

$$V_{l,k} = 198762 \text{ N}$$

$$V_{e,k} = 968967 \text{ N}$$

Vult Tidak boleh lebih besar dari:

$$V_{u,\text{maks}} = 1,05 \left[ V_{d,k} + V_{l,k} \pm \frac{4}{K} V_{e,k} \right]$$

$$V_{u,\text{maks}} = 1,05 \left[ 292213 + 198762 \pm \frac{4}{1} \times 968967 \right]$$

$$= 4585185 \text{ N}$$

$$V_{u_{\text{terpakai}}} = 4585185 \text{ N}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton ;

$$V_c = \left( 1 + \frac{Nu}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_c = \left( 1 + \frac{1183597}{14.(1000 * 1000)} \right) \cdot \frac{\sqrt{30}}{6} \cdot 1000 \cdot 929$$

$$= 919754,08 \text{ N}$$

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

$$V_n = \frac{4585185}{0,6} = 7641975,3 \text{ N}$$

$V_c < V_n$                     **Diperlukan sengkang**

$$V_s = V_n - V_c$$

$$= 7641975,3 - 919754,08$$

$$= 6722221,2 \text{ N}$$

Syarat Sengkang Berdasarkan SNI 03-2847-2002

Asumsi dipasang diameter sengkang 25  $\phi$  10 mm

$$A_v = 25 * \frac{1}{4} * 3,14 * 10^2 = 3318,31 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang tidak boleh lebih besar dari :

$$S \leq \frac{d_b}{4} = \frac{929}{4} = 232,25 \text{ mm}$$

$$S \leq 8 \times D \text{ mm} = 8 \times 38 = 288 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} \leq 150 \text{ mm}$$

Mencari jarak tulangan geser dengan menggunakan rumus:

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

$$= \frac{3318,31 \cdot 240 \cdot 929}{6722221,2}$$

$$= 105,94 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm} < S_{max} = 200 \text{ mm}$$

Cek Bentang Tulangan Geser

$$V_{s_{pakai}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$= \frac{3318,31 \cdot 240 \cdot 929}{100}$$

$$= 184962445,6 \text{ N} > 120823430 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Tabel 5.10 Hasil Perancangan Tulangan Geser Kolom SNI 03 – 2847 - 2002

No. Kolom	Tipe kolom	Dimensi		V <sub>e</sub> (N)	V <sub>c</sub> (N)	V <sub>s</sub> (N)	Tulangan terpakai		Ø (mm)	Jarak (mm)	
		b (mm)	h (mm)				Tumpuan	Lapangan		Tumpuan	Lapangan
1	K1	1000	1000	968967	919754.1	6722221.17	19	19	13	100	100
2	K2	800	900	642715	647926.4	4561601.34	19	19	13	100	100
3	K3	700	800	475420	494030.4	2958161.36	13	13	13	150	150
4	K4	1000	1000	648813	1040147	7277032.21	16	16	13	120	120
5	K5	600	600	85085	305222.9	461231.556	17	17	10	110	110

### G. Perancangan Penulangan Balok Berdasarkan SNI 2847:2013

Perancangan tulangan lentur dan tulangan geser balok, akan dirancang sesuai dengan masing-masing tipe balok yang ada. Penulangan balok dirancang berdasarkan momen dan gaya geser terbesar dari hasil analisis mekanika dengan menggunakan program SAP 2000.14. pada tabel 5.2.

#### 1. Data Struktur

Tipe Balok	= BP2
Dimensi Struktur	= 250 x 400 mm
Selimut Beton (s)	= 40 mm
Diameter tulangan lentur (D)	= 16 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ )	= 10 mm
F'c	= 25 MPa
Fy	= 400 MPa
Momen Tumpuan (Mu+)	= 30784800 Nmm (SAP)
Momen Lapangan (Mu-)	= 22697300 Nmm (SAP)
Gaya Geser	= 40613000 N (SAP)
d'	= s + $\emptyset$ + $\frac{1}{2}$ .D
	= 40 + 10 + $\frac{1}{2}$ .16
	= 58 mm
d	= h – d'
	= 400 – 58
	= 342 mm
Lb	= 6000 mm
$\beta$	= 0,85
$\phi$	= 0.9

$$F_{ys} = 240 \text{ MPa}$$

## 2. Persyaratan dimensi berdasarkan SNI 2847:2013

$h$	$\geq$	$\frac{Lb}{21}$	
400 mm	$\geq$	$\frac{6000}{21}$	
400 mm	$\geq$	285,71 mm	<b>OK</b>
$b$	$\geq$	250 mm	
250	$\leq$	250 mm	<b>OK</b>
$b/h$	$\geq$	0,3	
250/400	$\geq$	0,3	
0,6	$\geq$	0,3	<b>OK</b>
$Lb/h$	$\geq$	4	
6000/400	$\geq$	4	
15	$\geq$	4	<b>OK</b>

## 3. Perancangan Tulangan Lentur Tumpuan Balok

$$M_u = 30784800 \text{ Nmm (SAP)}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$= 0,003500$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85 \left( \frac{600}{600 + 400} \right)}{400}$$

$$= 0,0271$$

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

$$= 0,02032$$

$$M_n > \frac{M_u}{\phi}$$

$$> \frac{M_u}{0,90} = \frac{30784800}{0,90} = 34205333,33 \text{ Nmm}$$

$$34205333,33 \text{ Nmm} > 30784800 \text{ Nmm}$$

OK

$$R_n = \frac{M_n}{0,9 \cdot b \cdot d^2}$$

$$= \frac{34205333,33}{0,9 \cdot 250 \cdot 342^2} = 1,170 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 25}{400}$$

$$= 0,053125$$

$$\rho_{hit} = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'c}} \right]$$

$$\rho_{hit} = \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,170}{0,85 \cdot 25}} \right]$$

$$= 0,00301$$

$$\left. \begin{array}{l} \rho_{min} = 0,003500 \\ \rho_{maks} = 0,020320 \\ \rho_{hit} = 0,00178 \end{array} \right\} \text{ digunakan } \rho_{min}$$

$$A_{S \text{ perlu}} = \rho_{min} \cdot b \cdot d$$

$$A_{S \text{ perlu}} = 0,0035 \cdot 250 \cdot 342$$

$$= 299,25 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan D 16 } A_{S_{tul}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 201,062 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_{S \text{ perlu}}}{A_{S_{tul}}} = 1,488 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Jumlah tulangan atas 2 buah

$$\text{Jarak tulangan atas} = \frac{250 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 16}{2 - 1} = 118 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan 2 D 16

$$A_{S_{tot}} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 402,124 \text{ mm}^2$$



Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan berdasarkan rasio :

$$A_s' > 0,5 \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$0,5 \cdot 299,25 = 149,625$$

$$149,625 : A_{s_{tul}}$$

$$149,625 : 201,062 = 0,744 \approx 1 \text{ D } 16$$

$$A_{s_{tot}} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 201,062 \text{ mm}^2$$

Cek luas tulangan :

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} < 402,124 \text{ mm}^2$$

$$= \frac{1,4 \cdot 250 \cdot 342}{400}$$

$$= 299,25 \text{ mm}^2 < 402,124 \text{ mm}^2$$

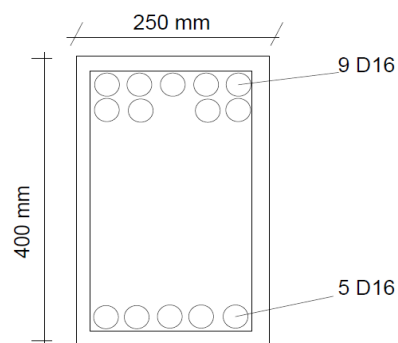
**OK**

$$A_{s_{maks}} = \frac{2 \cdot b_w \cdot d}{f_y} > 402,124 \text{ mm}^2$$

$$= \frac{2 \cdot 250 \cdot 342}{400}$$

$$= 427,5 \text{ mm}^2 > 402,124 \text{ mm}^2$$

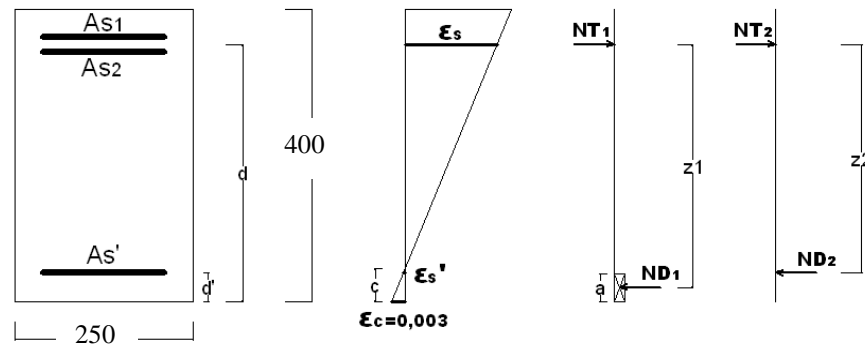
**OK**



Gambar 5.6 Penulangan tumpuan balok tipe BP-2

#### 4. Analisis Kapasitas Momen Layan Tumpuan Balok

Sebagai contoh perhitungan akan di hitung kapasitas momen layan balok BP-2 di tumpuan dengan dimensi 250 x 400.



Gambar 5.7 Analisis kapasitas momen layan tumpuan balok

- a) Data hasil analisis mekanika (Tabel 5.2)

$$M_u = 30784800 \text{ Nmm}$$

- b) Data mutu beton dan mutu baja

$$f_y = 400 \text{ MPa (Tulangan lentur)}$$

$$f_{ys} = 240 \text{ MPa (Tulangan geser)}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85$$

- c) Data tulangan dan selimut beton yang digunakan

$$T_1 = 16 \text{ mm}$$

$$T_t = 10 \text{ mm}$$

$$S = 40 \text{ mm}$$

$$A_s = 2 \text{ D } 16 = 402,124 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'} = 1 \text{ D } 16 = 201,062 \text{ mm}^2$$

$$d' = s + T_t + \frac{1}{2} T_1$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 16 = 58,0 \text{ mm}$$

- d) *Checking* kapasitas momen layan tumpuan balok

Dari tulangan yang terpasang kemudian dilakukan pemeriksaan kuat momen yang dapat dipikul balok dengan asumsi tulangan tarik leleh ( $f_s = f_y$ ) dan tekan belum leleh ( $f_{s'} \neq f_y$ ).

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \times f_c' \times \beta \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{(A_s - A_s') \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b \times \beta} \\ &= \frac{(402,124 - 201,062) \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\ &= 15,139 \text{ mm} \end{aligned}$$

Letak garis netral (c),

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{15,139}{0,85} = 17,810 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{342 - 17,810}{17,810} \times 0,003 \\ &= 0,055 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (asumsi benar, tulangan tarik leleh)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{17,80 - 58}{17,810} \times 0,003 \\ &= -0,0068 < \epsilon_y = 0,002 \text{ (asumsi salah, tulangan tekan belum} \end{aligned}$$

leleh).

Pemeriksaan asumsi,

kerena  $\epsilon_s > \epsilon_y > \epsilon_s'$ , tulangan baja tarik telah melampaui batas leleh tetapi baja tekan belum. Dengan demikian ternyata anggapan pada langkah awal tidak benar. Maka diperlukan letak garis netral dengan menggunakan kesetimbangan gaya-gaya horizontal ( $\sum H_F = 0$ ),  $N_T = N_{D1} + N_{D2}$ , yaitu dengan mencari nilai c dengan rumus sebagai berikut:

$$c = \pm \sqrt{(Q + R^2)} - R$$

$$R = \frac{600 \times A_s' - A_s \times f_y}{1,7 \times f_c' \times b \times \beta}$$

$$Q = \frac{600 \times d' \times A_s'}{0,85 \times f_c' \times b \times \beta}$$

Maka,

$$R = \frac{600 \times 201,062 - 402,124 \times 400}{1,7 \times 25 \times 250 \times 0,85}$$

$$= -4,453 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{600 \times 58 \times 201,062}{0,85 \times 25 \times 250 \times 0,85}$$

$$= 1549,50 \text{ mm}$$

$$c = \pm \sqrt{(1549,50 + (-4,453)^2)} - (-4,453)$$

$$= 44,067 \text{ mm}$$

Demikian nilai c tersebut, nilai-nilai lain yang belum diketahui dapat dicari.

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \times 2.10^5$$

$$= \frac{44,067 - 58}{44,067} \times 600$$

$$= -189,701 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa}$$

**OK**

$$a = \beta \times c$$

$$= 0,85 \times 44,067$$

$$= 37,457 \text{ mm}$$

Hasil analisis gaya dan momen nominal lapangan balok ditampilkan dalam tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Analisis gaya dan momen nominal tumpuan balok

Gaya (N)	Jarak (mm)	Momen (Nmm) ( $ND_n \times Z_i$ )
$ND_1 = 0,85 \cdot fc' \cdot a \cdot b = 198991,31$	$Z_1 = d - (a/2) = 323,2714$	$Mn_1 = 64328200,2$
$ND_2 = As' \cdot fs' = -38141,76$	$Z_2 = d - c = 297,932$	$Mn_2 = -11363679,8$
$\Sigma ND = 16084954$		$\Sigma Mn = 52964520,43$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 Mr &= \phi Mn > Mu \\
 &= 0,8 \times 52964520,43 \\
 &= 47668068,39 > 30784800 \text{ Nmm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

### 5. Perancangan Tulangan Lentur Lapangan Balok

$$Mu = 22697300 \text{ Nmm (SAP)}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400} = 0,003500$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta \left( \frac{600}{600 + fy} \right)}{fy}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85 \left( \frac{600}{600 + 400} \right)}{400}$$

$$= 0,0271$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,0271$$

$$Mn > \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn > \frac{22697300}{0,80} = 28371625 \text{ Nmm}$$

$$28371625 \text{ Nmm} > 22697300 \text{ Nmm} \quad \text{OK}$$

$$Rn = \frac{Mu}{0,9 \cdot bw \cdot d^2}$$

$$Rn = \frac{22697300}{0,9 \cdot 250 \cdot 342^2} = 0,862$$

$$m = \frac{0,85 \cdot f'c}{fy}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,85 \cdot 25}{400} \\
 &= 0,053125 \\
 \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f'c}} \right) \\
 \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \cdot 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,862}{0,85 \cdot 25}} \right) \\
 &= 0,00131 \\
 \rho_{min} &= 0,003500 \\
 \rho_{maks} &= 0,020320 \\
 \rho_{hit} &= 0,00131
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} \rho_{min} \\ \rho_{maks} \\ \rho_{hit} \end{aligned}} \right\} \text{Kardigunakan } \rho_{min}$$

$$A_{S \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$\begin{aligned}
 A_{S \text{ perlu}} &= 0,0035 \cdot 250 \cdot 342 \\
 &= 299,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan D 16 } A_{S \text{ tul}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 201,062 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_{S \text{ perlu}}}{A_{S \text{ tul}}} = 1,488 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah tulangan atas} = 2 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak tulangan} &= \frac{B - 2 \cdot S - 2 \cdot \phi - n_{baris} \cdot D}{n_{baris} - 1} \\
 &= \frac{250 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 16}{2 - 1} = 118 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Dipasang tulangan } 2 \text{ D 16}$$

$$A_{S \text{ tot}} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 402,124 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan berdasarkan rasio :

$$A_s' > 0,5 \cdot \rho_{hit} \cdot b \cdot d$$

$$0,5 \cdot 299,25 = 149,625$$

$$149,625 : A_{S \text{ tul}}$$

$$149,625 : 201,062 = 0,74 \approx 1 \text{ D 16}$$

$$A_{S_{tot}} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 201,062 \text{ mm}^2$$

Cek luas tulangan :

$$A_{S_{min}} = \frac{1,4 \cdot bw \cdot d}{f_y} < 402,124 \text{ mm}^2$$

$$= \frac{1,4 \cdot 250 \cdot 342}{400}$$

$$= 299,25 \text{ mm}^2 < 402,124 \text{ mm}^2$$

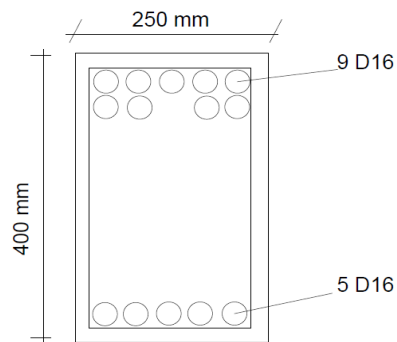
**OK**

$$A_{S_{maks}} = \frac{2 \cdot bw \cdot d}{f_y} > 402,124 \text{ mm}^2$$

$$= \frac{2 \cdot 250 \cdot 342}{400}$$

$$= 427,5 \text{ mm}^2 > 402,124 \text{ mm}^2$$

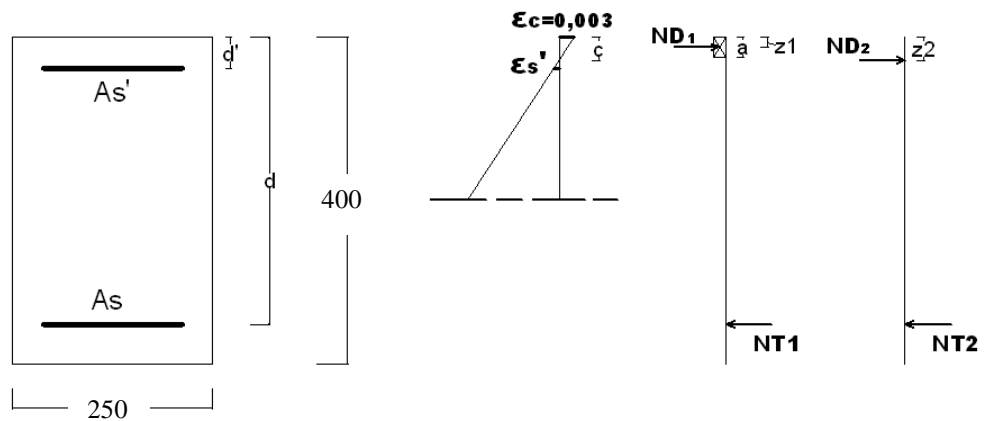
**OK**



Gambar 5.8 Penulangan lapangan balok tipe BP-2.

## 6. Analisis Kapasitas Momen Layan Lapangan Balok

Sebagai contoh perhitungan akan di hitung kapasitas momen layan balok BP-2 di lapangan dengan dimensi 250 x 400.



Gambar 5.9 Analisis kapasitas momen layan lapangan balok

- a) Data hasil analisis mekanika (Tabel 5.2)

$$M_u = 22697300 \text{ Nmm}$$

- b) Data mutu beton dan mutu baja

$$f_y = 400 \text{ MPa (Tulangan lentur)}$$

$$f_{ys} = 240 \text{ MPa (Tulangan geser)}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85$$

- c) Data tulangan dan selimut beton yang digunakan

$$T_1 = 16 \text{ mm}$$

$$T_t = 10 \text{ mm}$$

$$S = 40 \text{ mm}$$

$$A_s = 2 \text{ D } 16 = 402,124 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'} = 1 \text{ D } 16 = 201,062 \text{ mm}^2$$

$$d' = s + T_t + \frac{1}{2} T_1$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 16 = 58,00 \text{ mm}$$



d) *Checking* kapasitas momen layan lapangan balok

Dari tulangan yang terpasang kemudian dilakukan pemeriksaan kuat momen yang dapat dipikul balok dengan asumsi tulangan tarik leleh ( $f_s = f_y$ ) dan tekan belum leleh ( $f_s' \neq f_y$ ).

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \times f_c' \times \beta \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{(A_s - A_s') \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{(402,124 - 201,062) \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} = 15,139 \text{ mm} \end{aligned}$$

Letak garis netral ( $c$ ),

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{15,139}{0,85} = 17,810 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{342 - 15,139}{17,810} \times 0,003 \\ &= 0,054 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (asumsi benar, tulangan tarik leleh)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{17,80 - 58}{17,810} \times 0,003 \\ &= -0,0068 < \epsilon_y = 0,002 \text{ (asumsi salah, tulangan tekan belum} \\ &\text{leleh)}. \end{aligned}$$

Pemeriksaan asumsi,

kerena  $\epsilon_s > \epsilon_y > \epsilon_s'$ , tulangan baja tarik telah melampaui batas leleh tetapi baja tekan belum. Dengan demikian ternyata anggapan pada langkah awal tidak benar. Maka diperlukan letak garis netral dengan menggunakan kesetimbangan gaya-gaya horizontal ( $\sum H_F = 0$ ),  $N_T = N_{D1} + N_{D2}$ , yaitu dengan mencari nilai  $c$  dengan rumus sebagai berikut:

$$c = \pm \sqrt{(Q + R^2)} - R$$

$$R = \frac{600 \times A_s' - A_s x f_y}{1,7 \times f_c' \times b \times \beta}$$

$$Q = \frac{600 \times d' \times A_s'}{0,85 \times f_c' \times b \times \beta}$$

Maka,

$$R = \frac{600 \times 201,062 - 402,124 \times 400}{1,7 \times 25 \times 250 \times 0,85}$$

$$= -4,453 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{600 \times 58 \times 201,062}{0,85 \times 25 \times 250 \times 0,85}$$

$$= 1549,50 \text{ mm}$$

$$c = \pm \sqrt{(1549,50 + (-4,453)^2)} - (-4,453)$$

$$= 44,067 \text{ mm}$$

Demikian nilai c tersebut, nilai-nilai lain yang belum diketahui dapat dicari.

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \times 2.10^5$$

$$= \frac{44,067 - 58}{44,067} \times 600$$

$$= -189,701 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa}$$

**OK**

$$a = \beta \times c$$

$$= 0,85 \times 44,067$$

$$= 37,457 \text{ mm}$$

Hasil analisis gaya dan momen nominal lapangan balok ditampilkan dalam tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 Analisis gaya dan momen nominal lapangan balok

Gaya (N)	Jarak (mm)	Momen (Nmm) ( $ND_n \times Z_i$ )
$ND_1 = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 198991,31$	$Z_1 = d - (a/2) = 323,2714$	$Mn_1 = 64328200,2$
$ND_2 = A_s' \cdot f_s' = -38141,76$	$Z_2 = d - c = 297,932$	$Mn_2 = -11363679,8$
$\Sigma ND = 16084954$		$\Sigma Mn = 52964520,43$

Syarat :

$$Mr = \phi Mn > Mu$$

$$= 0,8 \times 52964520,43$$

$$= 47668068,39 > 30784800 \text{ Nmm}$$

**OK**

Tabel 5.13 Hasil Perancangan Tulangan Lentur Balok SNI 2847 : 2013

No. Balok	Tipe Balok	Dimensi (mm)	Lokasi	Tulangan D (mm)	Jumlah Tulangan		Mu (Nmm)
					Atas	Bawah	
1	BP-1	500x700	Tumpuan	25	5	5	937276300
			Lapangan	25	5	4	864729400
2	BP-2	250x400	Tumpuan	16	5	4	30784800
			Lapangan	16	5	4	22697300
3	BP-3	300x700	Tumpuan	19	6	5	597521600
			Lapangan	19	7	7	667401400
4	BP-4	400x600	Tumpuan	16	7	6	426021400
			Lapangan	16	5	5	353862800
5	BP-6	500x700	Tumpuan	25	6	6	1068046300
			Lapangan	25	6	5	1010557300
6	BP-7	700x600	Tumpuan	25	4	4	600763500
			Lapangan	25	2	2	332713200
7	BP-9	800x1000	Tumpuan	25	9	9	2355223300
			Lapangan	25	3	3	406829900
8	BP-11	1000x1200	Tumpuan	29	8	7	3149201100
			Lapangan	29	9	9	3735732600
9	BP-12	1300x1600	Tumpuan	36	9	9	9136479100
			Lapangan	36	4	4	3861395900
10	B-1	500x800	Tumpuan	25	6	6	1245078800
			Lapangan	25	4	4	873570500
11	B-2	300x600	Tumpuan	19	6	5	473520900
			Lapangan	19	6	5	470213100

12	B-3	300x700	Tumpuan	19	5	4	513549100
			Lapangan	19	4	4	448335800
13	B-4	400x650	Tumpuan	19	5	5	489694600
			Lapangan	19	6	6	606173000
14	B-5	300x400	Tumpuan	16	4	4	167035800
			Lapangan	16	5	4	180755300
15	B-6	300x500	Tumpuan	19	5	4	319559400
			Lapangan	19	3	3	222468800
16	B-7	500x700	Tumpuan	25	6	6	943255700
			Lapangan	25	4	3	704617600
17	RB-1	300x500	Tumpuan	16	3	3	153146300
			Lapangan	16	2	3	111019600
18	RB-2	300x500	Tumpuan	13	5	4	166050300
			Lapangan	13	3	3	119607600
19	RB-3	400x600	Tumpuan	16	4	3	244170500
			Lapangan	16	3	2	182242700
20	RB-4	300x600	Tumpuan	16	3	0	24864200
			Lapangan	16	3	0	11871000
21	RB-5	300x500	Tumpuan	16	4	3	190600300
			Lapangan	16	3	3	149907300
22	RB-6	500x500	Tumpuan	16	5	4	231931800
			Lapangan	16	5	4	213095200

## 7. Perencanaan Penulangan terhadap Geser Balok (SNI 2847 : 2013)

### Data Struktur

Lb : 6000 mm  
 Balok, Ki : 400 mm  
 Balok, Ka : 400 mm  
 Ln :  $6000 - 2 \cdot (1/2 \cdot 400) = 5600$  mm  
 Fy : 400 MPa > Tulangan  $\varnothing$  13 mm  
 D<sub>tul</sub> : 16 mm  
 $\varnothing_{tul}$  : 10 mm  
 b/h : 250/400 mm  
 $\Phi$  : koefisien reduksi ( 0,55 )

### Gaya Geser Hasil *Running* Analisis SAP 2000. V14.0.0

V<sub>ult</sub> : 40613 N  
 V<sub>Death</sub> : 19484 N

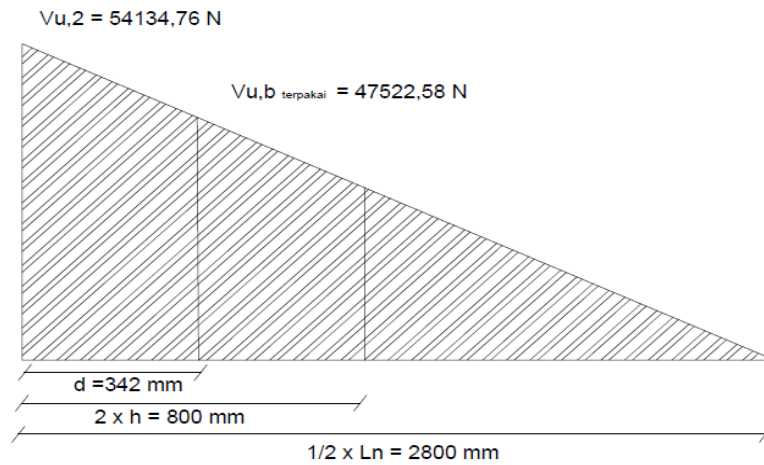
$$\begin{aligned}
 V_{\text{Live}} & : 5792 \text{ N} \\
 V_E & : 65823 \text{ N} \\
 M_{n_{ki}} = M_{n_{ka}} & : A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \\
 & : 603,186.400 \cdot (342 - 60,551/2) \\
 & : 75210618,14 \text{ Nmm} \\
 V_g & : 1,2 V_D + 1,0 V_L \\
 & : 1,2 \times 19484 + 1,0 \times 5792 \\
 & : 29172,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### Perencanaan Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 V_{U,1} & = 40613 \text{ N} \\
 M_{n_{ki}} = M_{n_{ka}} & = 75210618,14 \text{ N} \\
 M_{\text{kap},b} & = \phi_o \times M_{\text{nak},b} \\
 & = 1,25 \times 75210618,14 \\
 & = 9413272,68 \text{ Nmm} \\
 V_{U,2} & = 0,7x \frac{M_{\text{kap},b} + M_{\text{kap},b'}}{l_n} + 1,05V_g \\
 & = 0,7x \frac{2 \times 9413272,68}{5600} + 1,05 \cdot 29172,8 \\
 & = 54134,76 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tetapi tidak lebih besar dari :

$$\begin{aligned}
 V_{U,3} & = 1,05 \left( V_{D,b} + V_{L,b} + \frac{4}{K} x V_{E,b} \right) \\
 & = 1,05 \left( 19484 + 5792 + \frac{4}{1} x 65823 \right) \\
 & = 302994,4 \text{ N} \\
 V_{U,2} & = 54134,76 \text{ N}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 V_{u,b \text{ terpakai}} &= \frac{0,5 \times l_n - d}{0,5 \times l_n} \times V_{u,b} \\
 &= \frac{0,5 \times 5600 - 342}{0,5 \times 5600} \times 54134,76 \text{ N} \\
 &= 47522,584 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### Cek Kekuatan Geser

Dicoba menggunakan  $V_c = 0$ , maka

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{47522,584}{0,55} - 0$$

$$= 86404,6984 \text{ N}$$

$$\frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d = \frac{2}{3} \times \sqrt{25} \times 400 \times 342 = 285000 \text{ N}$$

$$V_s < \frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$86404,6984 \text{ N} < 285000 \text{ N}$$

**OK**

Asumsi dipasang diameter sengkang  $2 \phi 10 \text{ mm}$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 157,079 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang tidak boleh lebih besar dari :

$$S \leq \frac{d_b}{4} = \frac{342}{4} = 85,5 \text{ mm}$$

$$S \leq 9 \times D \text{ mm} = 9 \times 16 = 144 \text{ mm}$$

$$S \leq 24 \times \phi \text{ mm} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 200 \text{ mm}$$

Mencari jarak tulangan geser dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ &= \frac{157,079 \cdot 240 \cdot 342}{86404,6984} \\ &= 149,217 \text{ mm} \end{aligned}$$

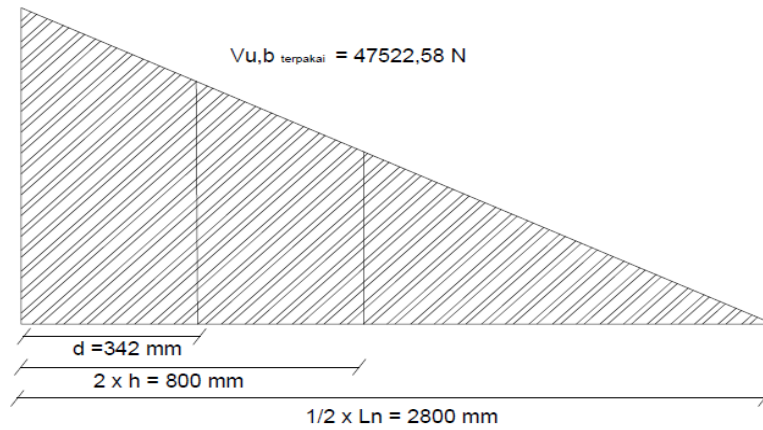
$$S_{pakai} = 140 \text{ mm} < S_{\max} = 200 \text{ mm}$$

Cek Bentang Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{pakai}} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \\ &= \frac{157,079 \cdot 240 \cdot 342}{140} \\ &= 92093,545 \text{ N} > 86404,6984 \text{ N} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

### Perancangan Tulangan Geser di Luar Daerah Sendi Plastis

$$V_{u,2} = 54134,76 \text{ N}$$



$$\begin{aligned}
 V_{u,b\text{terpakai}} &= \frac{0,5 \times l_n - 2h}{0,5 \times l_n} \times V_{u,b} \\
 &= \frac{0,5 \times 5600 - 2 \times 342}{0,5 \times 5600} \times 54134,758 \\
 &= 40910,4101 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 400 \times 342 = 71250 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d = \frac{2}{3} \times \sqrt{25} \times 400 \times 342 = 285000 \text{ N}$$

#### Cek Kekuatan Geser

Dicoba menggunakan  $V_c$  diluar sendi plastis = 71250 N, maka

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{40910,4101}{0,55} - 71250$$

$$= 3132,564 \text{ N}$$



$$V_s < \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c} \times bw \times d$$

$$3132,564 \text{ N} < 285000 \text{ N} \quad \text{OK}$$

Asumsi dipasang diameter sengkang 1  $\phi$  10 mm

$$A_v = 1 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 78,540 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang tidak boleh lebih besar dari :

$$S \leq \frac{d_b}{2} = \frac{342}{2} = 171 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 400 \text{ mm}$$

Mencari jarak tulangan geser dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ &= \frac{78,540 \cdot 342}{3132,564} \\ &= 2057,914 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm} < S_{\max} = 200 \text{ mm}$$

Diambil jarak 150 mm karena jumlah tulangan = 1.

#### Cek Bentang Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \\ &= \frac{78,540 \cdot 240 \cdot 342}{150} \\ &= 42977,088 \text{ N} > 325569,00 \text{ N} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Pada daerah di luar plastis dipasang sengkang 1 $\phi$  10 – 150 mm

Hasil perhitungan tulangan geser balok di daerah sendi plastis dan di luar daerah sendi plastis pada balok dimensi berbeda, ditampilkan dalam tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5.14 Hasil Perancangan Tulangan Geser Balok SNI 2847 : 2013

No. Balok	Type Balok	Dimensi (mm)	Lokasi	$Vu_b$ terpakai (N)	Vc (N)	Vs (N)	Tul. Terpakai (mm)
1	BP-1	500x700	Tumpuan	567917.2272	0	1802488.8	15 $\phi$ 10 - 100
			Lapangan	400496.5417	270937.5	3484811.7	29 $\phi$ 10 - 100
2	BP-2	250x400	Tumpuan	47522.58414	0	506514.5	11 $\phi$ 10 - 140
			Lapangan	40910.4101	72675	859539.75	20 $\phi$ 10 - 150
3	BP-3	300x700	Tumpuan	418734.2178	0	1810971.1	15 $\phi$ 10 - 100
			Lapangan	294539.1418	163327.5	1433685.4	19 $\phi$ 10 - 160
4	BP-4	400x600	Tumpuan	322297.4137	0	1532468.9	15 $\phi$ 10 - 100
			Lapangan	244934.6156	184280	1362194.6	20 $\phi$ 10 - 150
5	BP-6	500x700	Tumpuan	3105658.007	0	14419910	48 $\phi$ 10 - 40
			Lapangan	2469559.379	270937.5	6361725.1	45 $\phi$ 10 - 85
6	BP-7	700x600	Tumpuan	386623.2992	0	3039490.9	21 $\phi$ 10 - 70
			Lapangan	292697.865	319812.5	1519745.4	21 $\phi$ 10 - 140
7	BP-9	800x1000	Tumpuan	1876772.249	0	5301437.6	24 $\phi$ 10 - 80
			Lapangan	1245570.82	637500	8246680.7	42 $\phi$ 10 - 90
8	BP-11	1000x1200	Tumpuan	2209088.104	0	16295441	38 $\phi$ 10 - 50
			Lapangan	1211336.38	966875	8147720.5	38 $\phi$ 10 - 100
9	BP-12	1300x1600	Tumpuan	3043782.9	0	21946915	38 $\phi$ 10 - 50
			Lapangan	898854.0119	1692860	5005436.7	26 $\phi$ 10 - 150
10	B-1	500x800	Tumpuan	471207.503	0	2085232.1	15 $\phi$ 10 - 100
			Lapangan	298528.977	313437.5	2780309.5	24 $\phi$ 10 - 120
11	B-2	300x600	Tumpuan	400527.6603	0	1222582.2	12 $\phi$ 10 - 100
			Lapangan	266023.0313	137827.5	1945017.1	21 $\phi$ 10 - 110
12	B-3	300x700	Tumpuan	250204.0394	0	804876.04	10 $\phi$ 10 - 150
			Lapangan	175994.4134	163327.5	1609752.1	20 $\phi$ 10 - 150
13	B-4	400x650	Tumpuan	320755.8063	0	1446986.2	13 $\phi$ 10 - 100
			Lapangan	216082.5244	200770	982117.3	15 $\phi$ 10 - 170
14	B-5	300x400	Tumpuan	110250.5932	0	622487.73	15 $\phi$ 10 - 100
			Lapangan	94487.41612	87720	622487.73	21 $\phi$ 10 - 140
15	B-6	300x500	Tumpuan	248510.0684	0	996387.53	12 $\phi$ 10 - 100
			Lapangan	184474.5696	112327.5	3795762	32 $\phi$ 10 - 70
16	B-7	500x700	Tumpuan	332392.0898	0	1602212.3	12 $\phi$ 10 - 90
			Lapangan	176869.1854	270937.5	1121548.6	14 $\phi$ 10 - 150

17	RB-1	300x500	Tumpuan	113931.9128	0	555433.58	10 $\phi$ 10 - 150
			Lapangan	92575.71881	239827.5	1249725.6	21 $\phi$ 10 - 140
18	RB-2	300x500	Tumpuan	133121.7662	0	385835.91	6 $\phi$ 10 - 130
			Lapangan	64190.64733	240210	557318.54	10 $\phi$ 10 - 150
19	RB-3	400x600	Tumpuan	188776.3445	0	1300276.6	14 $\phi$ 10 - 110
			Lapangan	143463.3335	239445	1807527.4	23 $\phi$ 10 - 130
20	RB-4	300x600	Tumpuan	43167.38435	0	476768.1	7 $\phi$ 10 - 150
			Lapangan	23389.93522	112710	885426.47	13 $\phi$ 10 - 150
21	RB-5	300x500	Tumpuan	177036.4421	0	555433.58	8 $\phi$ 10 - 120
			Lapangan	116046.4909	113092.5	1851445.3	20 $\phi$ 10 - 90
22	RB-6	500x500	Tumpuan	199441.3226	0	833150.37	11 $\phi$ 10 - 110
			Lapangan	147829.4581	184280	833150.37	15 $\phi$ 10 - 150

## H. Perancangan Peulangan Kolom Berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2013

Berdasarkan data keluaran SAP 2000 v14.0.0, gaya aksial, gaya geser dan momen terbesar pada kolom dapat dilihat pada

### 1. Data Struktur

Tipe kolom	= K-1
Dimensi kolom	= 1000 $\times$ 1000 mm
Tinggi kolom (H)	= 3500 mm
Selimut beton (ds)	= 40 mm
Diameter tulangan lentur (D)	= 36 mm
Diameter tulangan geser ( $\phi$ )	= 10 mm
$f'_c$	= 30 MPa
$f'_y$	= 400 MPa
$d'$	= $s + \phi + \frac{1}{2}D$
	= $40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 36 = 71$ mm
$d$	= $h - d'$ mm
	= $1000 - 71 = 929$ mm
$M_{1b}$	= 1091091200 Nmm
$M_{2b}$	= 2013405400 Nmm
$P_u$	= 1183597 N

## 2. Persyaratan Dimensi Berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2013

$b$	$\geq$	300 mm	
1000	$\geq$	300 mm	<b>OK</b>
$b/h$	$\geq$	0,4	
1000/1000	$\geq$	0,4	
1	$\geq$	0,4	<b>OK</b>
$Hk/b$	$\leq$	16	
3500/1000	$\leq$	16	
3,5	$\leq$	16	<b>OK</b>

## 3. Kontrol terhadap kelangsingan kolom.

$K = 1$  (kedua ujung jepit ada gerak lateral)

$r = 0,3 \cdot h$

$= 0,3 \cdot 1000 = 300 \text{ mm}$

Goyangan struktur ditahan terhadap goyangan kesamping oleh plat lantai yang fungsinya sebagai diafragma, sehingga syarat kelangsingan dihitung dengan persamaan :

$$\frac{k \cdot l_u}{r} < \left( 34 - 12 \cdot \left( \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right) \right)$$

$$\frac{1 \times 3500}{300} < \left( 34 - 12 \cdot \left( \frac{1091091200}{2013405400} \right) \right)$$

$$11,67 < 25,497$$

Dengan demikian efek dari kelangsingan dari kolom dapat diabaikan.

## 4. Gaya aksial maksimum kolom

Ditaksir ukuran kolom 1000 mm x 1000 mm dengan jumlah penulangan rasio ( $\rho_g$ ) = 2,5 %, sehingga :

$$A_{st} = \rho \times b \times d = 0,025 \times 1000 \times 1000 = 25000 \text{ mm}^2$$

Dicoba dengan tulangan 24D22 pada masing-masing sisi kolom

$$A_{st} = 24 \times 0,25 \times \pi \times 36^2$$

$$= 24429,02 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{24429,02}{1000 \times 929} \times 100\%$$

$$= 2,6\% > 0,01 \quad \mathbf{OK}$$

$$Ast_{x-x} \approx 2Ast_{y-y}$$

$$As = As'$$

$$= 12\emptyset 36$$

$$= 12214,512 \text{ mm}^2$$

Batas peningkatan faktor reduksi  $\emptyset$  :

$$\frac{h - d' - ds}{h} = \frac{1000 - 71 - 40}{1000}$$

$$= 0,889 > 0,65, \text{ maka faktor reduksi } (\emptyset) \text{ dipakai } 0,65$$

$$Ag = 1000 \times 1000$$

$$= 1000000 \text{ mm}^2$$

$$0,1 \cdot fc' \cdot Ag = 0,1 \cdot 30 \cdot 1000000$$

$$= 3000000 \text{ N}$$

Beban aksial maksimum  $\emptyset Pn_{\max}$  yang dapat dipikul oleh kolom :

$$\emptyset Pn_{\max} = 0,8 \cdot \emptyset \cdot (0,85 \cdot fc' \cdot (Ag - Ast) + Ast \cdot fy)$$

$$= 0,8 \cdot 0,65 \cdot (0,85 \cdot 30 \cdot (1000000 - 25000) + 25000 \cdot 400)$$

$$= 18128500 \text{ N} > 3000000 \text{ N}, \emptyset \text{ tetap} \quad \mathbf{OK}$$

## 5. Kuat momen kolom

Peninjauan terhadap kondisi seimbang sebagai batas kelelahan tulangan tarik :

$$cb = \frac{600}{600 + fy} \cdot d$$

$$= \frac{600}{600 + 400} \cdot 929$$

$$= 557,4 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot 557,4$$

$$= 473,8 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{cb - d'}{cb} 0,003$$

$$= \frac{557,4 - 71}{557,4} 0,003$$

$$= 0,0026$$

$$f_s' = \varepsilon_s' \times E_s$$

$$= 0,0026 \times 200000 = 520 \text{ MPa} > f_y = 400 \text{ MPa}$$

Dipakai  $f_s' = f_y = 400 \text{ MPa}$

Karena  $\varepsilon_s' > \varepsilon_y = 0,02$  dapat disimpulkan bahwa tulangan baja tekan sudah meluluh, maka digunakan pasal 12.2.(4) SNI 2847 - 2002

$$f_s' = f_y$$

$$N_{D1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$= 0,85 \times 30 \times 473,8 \times 1000$$

$$= 12081645 \text{ N}$$

$$N_{D2} = A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 12214,512 \times (400 - 0,85 \times 30)$$

$$= 4574334,744 \text{ N}$$

$$N_T = A_s \cdot f_y$$

$$= 12214,514 \times 400$$

$$= 4885805,6 \text{ N}$$

$$Pn_b = N_{D1} + N_{D2} - N_T$$

$$= 12081654 + 4574334,744 - 4885805,6$$

$$= 11770174,94 \text{ N}$$

$$\phi Pn_b = 0,65 \times 11770174,94$$

$$= 711770174,94 \text{ N} > 1183597 \text{ N}$$

**OK**

**Check Kemampuan Kolom Menahan Beban :**

Syarat :

$$M_{uk} = 1,05 \left[ M_{dk} + M_{lk} \pm \frac{4,0}{K} M_{ek} \right]$$

$$M_{d,k} = 344074600 \text{ Nmm}$$

$$M_{l,k} = 238557400 \text{ Nmm}$$

$$M_{e,k} = 2051597000 \text{ Nmm}$$

$$M_{uk} = 1,05 \left[ 344074600 + 238557400 + \frac{4,0}{1} \times 2051597000 \right]$$

$$= 9228471000 \text{ Nmm}$$

$$Mu_{terpakai} = 9228471000 \text{ Nmm}$$

$$\phi Pn \geq \frac{Ag \times f'c}{10}$$

$$711770174,94 \geq \frac{1000 \times 1000 \times 30}{10}$$

$$711770174,94 \geq 3000000 \text{ N} \quad \text{OK}$$

$$Mn = 0,85 \times f'c \times b \times ax \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + As \times fs \left( \frac{h}{2} - d' \right) + As' \times fy \left( d - \frac{h}{2} \right)$$

$$= 0,85 \times 30 \times 1000 \times 473,8 \times \left( \frac{1000}{2} - \frac{473,8}{2} \right)$$

$$+ 24429,02 \times 400 \times \left( \frac{1000}{2} - 71 \right) + 24429,02 \times 400$$

$$\times \left( 929 - \frac{1000}{2} \right) = 11562782407 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn = 0,8 \times Mn = 9250225926 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn \geq Mu_{terpakai} = 9228471000 \text{ Nmm} \quad \text{OK}$$

Hasil perhitungan tulangan lentur kolom dengan menggunakan cara yang sama pada kolom dimensi berbeda, ditampilkan dalam tabel 5.15 berikut ini :

Tabel 5.15 Hasil Perancangan Tulangan Lentur Kolom SNI 2847 : 2013

No. Kolom	Tipe kolom	Dimensi		M1b (Nmm)	M2b (Nmm)	Pu (N)	Ø tul.	Jumlah Tul.	ØPn (N)
		b (mm)	h (mm)						
1	K1	1000	1000	1091091200	2013405400	1183597	36	24	7650613.7
2	K2	800	900	1430941000	1707429300	707786	36	20	5437482.4
3	K3	700	800	787402100	984781000	474474	36	16	4178723.1
4	K4	1000	1000	3853399300	6071351700	3171087	36	18	7701227.6
5	K5	600	600	357462300	244317500	170727	22	6	2714879

## 6. Penulangan geser kolom

Perancangan tulangan geser kolom K-1

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 30 \text{ MPa} \\
 f_y &= 240 \text{ MPa} \\
 d &= 929 \text{ mm} \\
 bw &= 1000 \text{ mm} \\
 hn &= 3500 \text{ mm} \\
 Nu &= 1183597 \text{ N} \\
 V_{d,k} &= 292213 \text{ N} \\
 V_{l,k} &= 198762 \text{ N} \\
 V_{e,k} &= 968967 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Vult Tidak boleh lebih besar dari:

$$\begin{aligned}
 V_{u,maks} &= 1,05 \left[ V_{d,k} + V_{l,k} \pm \frac{4}{K} V_{e,k} \right] \\
 V_{u,maks} &= 1,05 \left[ 292213 + 198762 \pm \frac{4}{1} \times 968967 \right] \\
 &= 4585185 \text{ N} \\
 V_{u,terpakai} &= 4585185 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton ;

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{Nu}{14 \cdot Ag} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\
 V_c &= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{1183597}{14 \cdot (1000 \cdot 1000)} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 929
 \end{aligned}$$



$$= 156358,19 \text{ N}$$

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

$$V_n = \frac{4585185}{0,6} = 7641975,3 \text{ N}$$

$V_c < V_n$             **Diperlukan sengkang**

$$V_s = V_n - V_c$$

$$= 7641975,3 - 156358,19$$

$$= 7485617,1 \text{ N}$$

Syarat Sengkang Berdasarkan SNI 2847 : 2013

Asumsi dipasang diameter sengkang  $20 \phi$  10 mm

$$A_v = 20 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 2654,65 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang tidak boleh lebih besar dari :

$$S \leq \frac{d_b}{4} = \frac{929}{4} = 232,25 \text{ mm}$$

$$S \leq 8 \times D \text{ mm} = 8 \times 36 = 288 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq 150 \text{ mm}$$

Mencari jarak tulangan geser dengan menggunakan rumus:

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

$$= \frac{2654,65 \cdot 240 \cdot 929}{7485617,1}$$

$$= 136,931 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 130 \text{ mm} < S_{\max} = 200 \text{ mm}$$

Cek Bentang Tulangan Geser

$$V_{s_{pakai}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$= \frac{2654,65 \cdot 240 \cdot 929}{130}$$

$$= 184962445,6 \text{ N} > 120823430 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Tabel 5.16 Hasil Perancangan Tulangan Geser Kolom SNI 2847 : 2013

No. Kolom	Tipe kolom	Dimensi		V <sub>e</sub> (N)	V <sub>c</sub> (N)	V <sub>s</sub> (N)	Tulangan terpakai		Ø (mm)	Jarak (mm)	
		b (mm)	h (mm)				Tumpuan	Lapangan		Tumpuan	Lapangan
1	K1	1000	1000	968967	156358.2	7485617.06	20	15	13	90	130
2	K2	800	900	642715	110147.5	5099380.26	19	19	13	100	100
3	K3	700	800	475420	83985.17	3368206.58	15	15	13	130	130
4	K4	1000	1000	648813	176825	8140354.46	26	26	13	70	70
5	K5	600	600	85085	51887.9	714566.6	19	19	10	100	100