

- Spasi tulangan (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 200 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\text{Syarat} = \text{Jarak bersih} \geq d_b = 190 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang ($A_{s \text{ pasang}}$)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \text{ min}}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

- Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min1}} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ min2}} = 0,14\% \times b \times h$$

$$= 0,14\% \times 1000 \times 120$$

$$= 168 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = 216 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek $A_{s \text{ min}}$:

$$\text{Syarat} = A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}} = 392,699 \geq 216 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 392,699 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 1000} \\ &= 5,544 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 392,699 \times 420 \times \left(85 - \frac{5,544}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 11,913 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,544}{0,8} = 6,390 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(85-6,39)}{6,39} \times 0,003 \\ &= 0,034 \end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ϵ_{ty})

$$\epsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$

- Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas} = 0,005$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

- Untuk $\epsilon_t < \epsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

- Untuk $\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,034 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 3,32\end{aligned}$$

- Untuk $\varepsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi_{\text{dipakai}} = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 11,913 \\ &= 10,722 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{\min} \text{ akibat } M_{22 \min}| \\ &= |-2,225| \\ &= 2,225 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 10,722 > 2,225 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 – 200

e) Tulangan Minimum

(untuk Tumpuan Bawah dan Lapangan Atas, Arah X dan Y)

- Spasi tulangan (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 200 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq d_b \\ &= 190 \geq 10 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (A_s min)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

- Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min1}} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min2}} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 130 \\ &= 168 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ min}} = 216 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek A_s min :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ min} \\ &= 392,699 \geq 216 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 200

4.10.4 Pengecekan Kapasitas Geser

- Kapasitas geser beton (V_c)

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\&= 0,17 \times \sqrt{35} \times 1000 \times 85/1000 \\&= 85,487 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,75$$

- Ambang batas geser pelat

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.3.1)

$$\begin{aligned}\text{Batas} &= 0,5 \times \phi \times V_c \\&= 0,5 \times 0,75 \times 85,487 \\&= 32,058 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Cek keperluan tulangan geser pelat

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= V_u > 0,5 \times \phi \times V_c \\&= 6,789 < 32,058 \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}\end{aligned}$$

4.10.5 Pengecekan Lendutan Pelat

a) Kapasitas Retak Lentur

- Momen inersia pelat (I_g)

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 1000 \times 120^3 = 144000000 \text{ mm}^4$$

- Tegangan retak (f_r)

$$f_r = 0,62 \times \sqrt{f'_c} = 0,62 \times \sqrt{35} = 3,668 \text{ MPa}$$

- Garis netral (y)

$$y = \frac{h}{2} = \frac{120}{2} = 60 \text{ mm}$$

- Kapasitas retak lentur (M_{cr})

$$\begin{aligned}M_{cr} &= f_r \times \frac{I_g}{y} \times 10^{-6} \\&= 3,668 \times \frac{144000000}{60} \times 10^{-6} \\&= 8,803 \text{ kNm}\end{aligned}$$

- Momen inersia retak (I_{cr})

$$I_{cr} = 0,25 \times I_g = 0,25 \times 144000000 = 36000000 \text{ mm}^4$$

b) Lendutan Arah Sumbu X

- Gaya dalam yang diperoleh dalam ETABS :

- $M_{11 \text{ max}}$ akibat DL	= 2,79 kN-m
- $M_{11 \text{ min}}$ akibat DL	= -3,218 kN-m
- $M_{11 \text{ max}}$ akibat $SIDL$	= 3,905 kN-m
- $M_{11 \text{ min}}$ akibat $SIDL$	= -1,242 kN-m
- $M_{11 \text{ max}}$ akibat LL	= 2,58 kN-m
- $M_{11 \text{ min}}$ akibat LL	= -2,646 kN-m

- Data hasil olah gaya dalam :

- $M_a \text{ lapangan (+)}$	$= \sum M_{11 \text{ max}}$ $= 2,79 + 3,905 + 2,58$ $= 9,275 \text{ kN-m}$
- $M_a \text{ tumpuan (-)}$	$= \sum M_{11 \text{ min}}$ $= -3,21 + (-1,242) + (-2,646)$ $= -7,106 \text{ kN-m}$
- $M_{cr} / M_a \text{ lapangan}$	$= 8,803 / 9,275$ $= 0,949 \text{ kN-m}$
- $M_{cr} / M_a \text{ tumpuan}$	$= 8,803 / 7,106$ $= 1,239 \text{ kN-m}$
- $I_e \text{ lapangan}$	$= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{cr}$ $= (0,949)^3 \times 1,44 \times 10^8 + [1 - (0,949)^3] \times 3,6 \times 10^7$ $= 128340636 \text{ mm}^4$

$I_e \text{ lapangan dipakai} = I_g = 128340636 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ lapangan} > I_g \text{)}$

- $I_e \text{ tumpuan}$	$= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{cr}$ $= (1,239)^3 \times 1,44 \times 10^8 + [1 - (1,239)^3] \times 3,6 \times 10^7$ $= 144000000 \text{ mm}^4$
-------------------------	---

$I_e \text{ tumpuan dipakai} = I_g = 144000000 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ tumpuan} > I_g \text{)}$

- $I_e \text{ rata-rata}$	$= 0,5 \times I_e \text{ lapangan} + 0,5 \times I_e \text{ tumpuan}$ $= 0,5 \times 128340636 + 0,5 \times 144000000$ $= 136170318 \text{ mm}^4$
---------------------------	---

- Lendutan seketika akibat DL (δ_{DL})

$$\begin{aligned}\delta_{DL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 4200 \times (2,58 + 0,2 \times 2,646)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\ &= 1,666 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Lendutan seketika akibat $SIDL$ (δ_{SIDL})

$$\begin{aligned}\delta_{SIDL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 4200 \times (3,905 + 0,2 \times 1,242)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\ &= 2,016 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

$$\begin{aligned}\delta_{LL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 4200 \times (2,58 + 0,2 \times 2,646)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\ &= 1,509 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})
(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{360} = \frac{4800}{360} = 11,667 \text{ mm}$$

- Cek lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

$$\begin{aligned}\text{Cek} &= \delta_{LL} < \frac{L}{360} \\ &= 1,509 < 11,667 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Rasio tulangan pelat (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \times d} = \frac{392,699}{1000 \times 85} = 0,004134$$

- Faktor jangka panjang (λ)

$$\lambda = \frac{2}{1 + 50 \times \rho} = \frac{2}{1 + 50 \times 0,004134} = 1,625$$

- Lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\begin{aligned}\delta_{LT} &= \lambda \times (\delta_{DL} + \delta_{SIDL}) + \delta_{LL} \\ &= 1,625 \times (1,66 + 2,016) + 1,509\end{aligned}$$

$$= 7,491 \text{ mm}$$

- Syarat lendutan jangka panjang (δ_{LT})
(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{240} = \frac{4200}{240} = 17,500 \text{ mm}$$

- Cek lendutan jangka panjang (δ_{LT})

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \delta_{LT} < \frac{L}{240} \\ &= 7,491 < 17,500 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

c) Lendutan Arah Sumbu Y

- Gaya dalam yang diperoleh dalam ETABS :

- $M_{22 \text{ max}}$ akibat *DL* = 2,789 kN-m
- $M_{22 \text{ min}}$ akibat *DL* = -3,045 kN-m
- $M_{22 \text{ max}}$ akibat *SIDL* = 3,905 kN-m
- $M_{22 \text{ min}}$ akibat *SIDL* = -3,975 kN-m
- $M_{22 \text{ max}}$ akibat *LL* = 2,579 kN-m
- $M_{22 \text{ min}}$ akibat *LL* = -2,646 kN-m

- Data hasil olah gaya dalam :

- $M_a \text{ lapangan (+)}$

$$\begin{aligned} &= \sum M_{22 \text{ max}} \\ &= 2,789 + 3,905 + 2,579 \\ &= 9,273 \text{ kN-m} \end{aligned}$$
- $M_a \text{ tumpuan (-)}$

$$\begin{aligned} &= \sum M_{22 \text{ min}} \\ &= -3,045 + (-3,975) + (-2,646) \\ &= -9,666 \text{ kN-m} \end{aligned}$$
- $M_{cr} / M_a \text{ lapangan}$

$$\begin{aligned} &= 8,803 / 9,273 \\ &= 0,949 \text{ kN-m} \end{aligned}$$
- $M_{cr} / M_a \text{ tumpuan}$

$$\begin{aligned} &= 8,803 / 9,666 \\ &= 0,911 \text{ kN-m} \end{aligned}$$
- $I_e \text{ lapangan}$

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{cr} \\ &= (0,949)^3 \times 1,44 \times 10^8 + [1 - (0,949)^3] \times 3,6 \times 10^7 \\ &= 128400397 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$
- $I_e \text{ lapangan dipakai}$

$$= 128400397 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ lapangan} < I_g \text{)}$$

$$\begin{aligned}
- I_e \text{ tumpuan} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{cr} \\
&= (0,911)^3 \times 1,44 \times 10^8 + [1 - (0,911)^3] \times 3,6 \times 10^7 \\
&= 117581980 \text{ mm}^4 \\
I_e \text{ tumpuan dipakai} &= I_g = 117581980 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ tumpuan} > I_g) \\
- I_e \text{ rata-rata} &= 0,5 \times I_e \text{ lapangan} + 0,5 \times I_e \text{ tumpuan} \\
&= 0,5 \times 128400397 + 0,5 \times 117581980 \\
&= 122991189 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

▪ Lendutan seketika akibat *DL* (δ_{DL})

$$\begin{aligned}
\delta_{DL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6 \\
&= \frac{\frac{5}{48} \times 6000 \times (2,789 + 0,2 \times 3,045)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\
&= 3,76 \text{ mm}
\end{aligned}$$

▪ Lendutan seketika akibat *SIDL* (δ_{SIDL})

$$\begin{aligned}
\delta_{SIDL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6 \\
&= \frac{\frac{5}{48} \times 6000 \times (3,905 + 0,2 \times 3,975)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\
&= 5,154 \text{ mm}
\end{aligned}$$

▪ Lendutan seketika akibat *LL* (δ_{LL})

$$\begin{aligned}
\delta_{LL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6 \\
&= \frac{\frac{5}{48} \times 6000 \times (2,579 + 0,2 \times 2,646)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\
&= 3,408 \text{ mm}
\end{aligned}$$

▪ Syarat lendutan seketika akibat *LL* (δ_{LL})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{360} = \frac{6000}{360} = 16,667 \text{ mm}$$

▪ Cek lendutan seketika akibat *LL* (δ_{LL})

$$\text{Cek} = \delta_{LL} < \frac{L}{360}$$

$$= 3,408 < 16,667 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan pelat (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d} = \frac{392,699}{1000 \times 85} = 0,004134$$

- Faktor jangka panjang (λ)

$$\lambda = \frac{2}{1 + 50 \times \rho} = \frac{2}{1 + 50 \times 0,004134} = 1,625$$

- Lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\begin{aligned} \delta_{LT} &= \lambda \times (\delta_{DL} + \delta_{SIDL}) + \delta_{LL} \\ &= 1,625 \times (3,726 + 5,154) + 3,408 \\ &= 17,835 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Syarat lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{240} = \frac{6000}{240} = 25,000 \text{ mm}$$

- Cek lendutan jangka panjang (δ_{LT})

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \delta_{LT} < \frac{L}{240} \\ &= 17,835 < 25,000 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

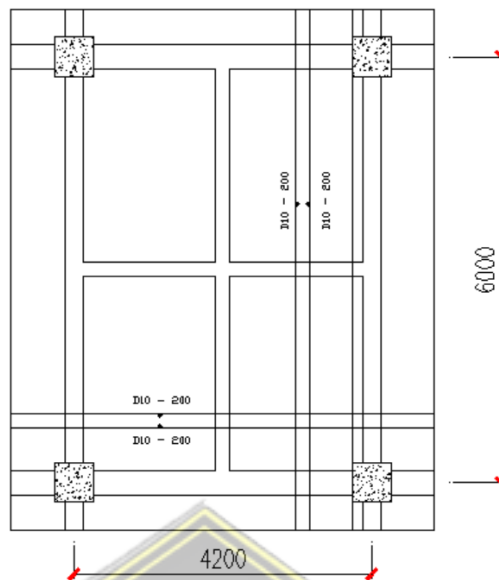
4.10.6 Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Tabel 4.42 dan Gambar 4.36 memberikan rekapitulasi hasil penulangan pelat beton dan gambar yang digunakan dalam perencanaan.

Tabel 4.42. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Pelat	L_x (m)	L_y (m)	Arah	Tumpuan		Lapangan	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
S1	4,2	6	X	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
			Y	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.36. Penulangan Pelat

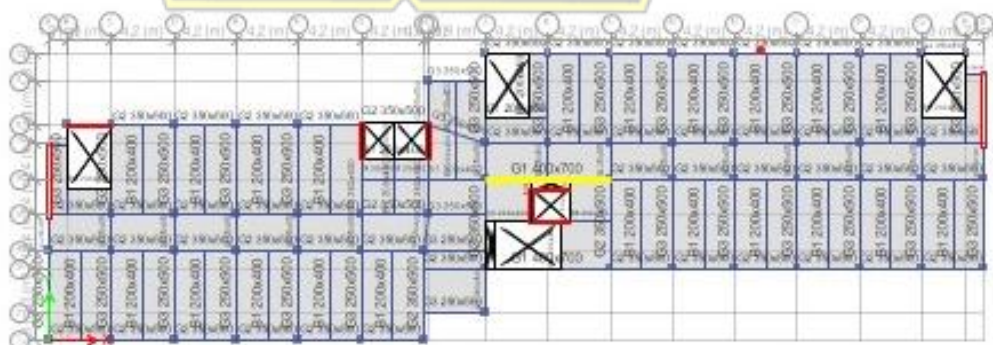
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.11 Perancangan Balok

Sebagai bagian dari studi kapasitas desain balok berdasarkan SRPMK, perhitungan tulangan lentur, tulangan geser, dan torsi balok dilakukan secara konvensional untuk memperkirakan jumlah beban yang diperlukan.

4.11.1 Properti Material dan Penampang

Balok G1 pada tingkat kelima, seperti terlihat pada Gambar 4.37, merupakan jenis balok yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan.



Gambar 4.37. Denah Balok G1 Sampel

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Panjang balok (L)	= 8400 mm
Lebar balok (b)	= 400 mm
Tinggi balok (h)	= 700 mm
Panjang tumpuan	= $2 \times h = 2 \times 700 = 1400$ mm
Diamater tulangan longitudinal (d_b)	= 22 mm
Diamater tulangan pinggang (d_{bt})	= 10 mm
Diamater tulangan sengkang (d_s)	= 10 mm
Tebal selimut bersih (c_c)	= 30 mm
Tebal efektif balok (d)	= $h - c_c - d_s - d_b/2$ = $700 - 30 - 10 - 22/2$ = 649 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 35 MPa
Kuat leleh tulangan longitudinal (f_y)	= 420 MPa
Kuat leleh tulangan transversal (f_y)	= 420 MPa
Faktor distribusi tegangan (β_1)	= $0,85 - 0,05 \times \frac{(f_c' - 28)}{7}$ = $0,85 - 0,05 \times \frac{(35 - 28)}{7}$ = 0,8
Panjang Kolom (c_1)	= 550 mm
Lebar Kolom (c_2)	= 550 mm
Panjang bersih balok (L_n)	= $L - c_1 = 8400 - 550 = 7850$ mm
Faktor modifikasi (λ)	= 1 (beton normal)

4.11.2 Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan longitudinal balok yang dilakukan, antara lain:

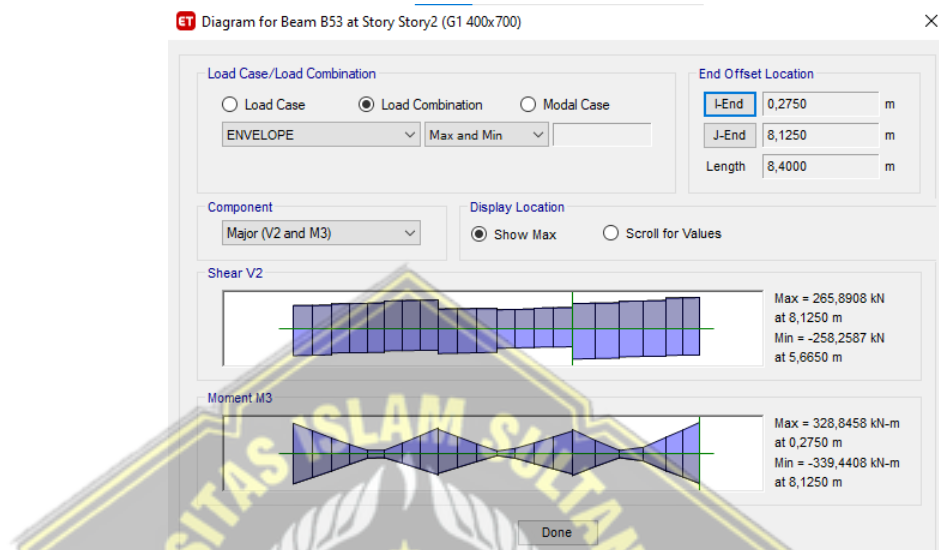
1. Gaya Dalam

Gaya dalam digunakan untuk membangun tulangan longitudinal balok B1 berupa momen ultimate tumpuan dan lapangan dari ETABS.

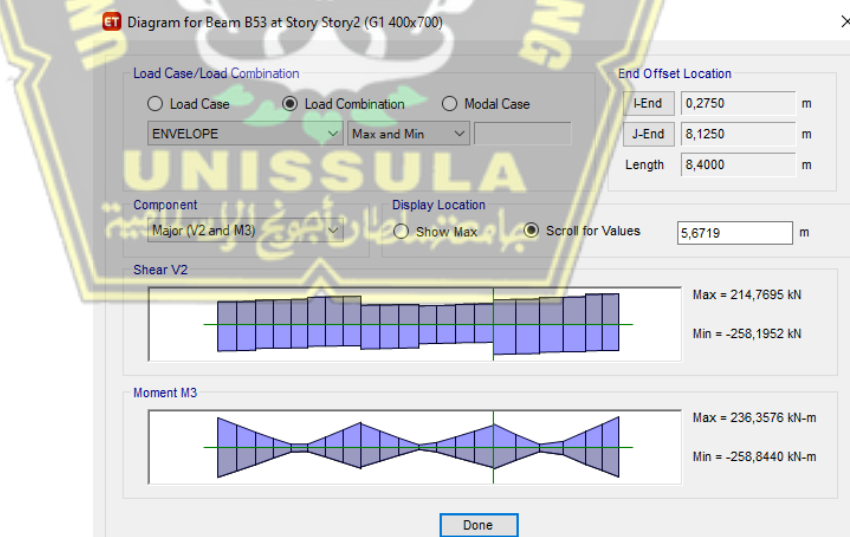
- M_u tumpuan (-) = -339,4408 kN-m
- M_u tumpuan (+) = 328,8458 kN-m
- M_u lapangan (-) = -258,844 kN-m

- M_u lapangan (+) = 236,3576 kN-m
- P_u = 0 kN

Gambar 4.38 dan Gambar 4.39 menunjukkan momen tumpuan dan medan ultimit balok B1 seperti yang diperoleh dari ETABS.



Gambar 4.38. Momen Ultimit Tumpuan Balok G1
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.39. Momen Ultimit Lapangan Balok G1
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

2. Syarat Gaya dan Geometri

a) Syarat Gaya Aksial

(SNI 2847:2019 pada Penjelasan R18.6.1 dan Pasal 18.6.4.7)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= P_u \leq 0,1 A_g \times f_c' \\ &= 0 \leq 0,1 \times 400 \times 700 \times 35 \\ &= 0 \leq 980000 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

b) Syarat Tinggi Efektif

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= L_n \geq 4 d \\ &= 7850 \geq 4 \times 649 \\ &= 7850 \geq 2596 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

c) Syarat Lebar 1

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= b \geq \text{minimal } (0,3 h \text{ atau } 250 \text{ mm}) \rightarrow \text{ambil nilai terkecil} \\ &= 400 \geq \text{minimal } (0,3 \times 700 \text{ atau } 250 \text{ mm}) \\ &= 350 \geq \text{minimal } (210 \text{ atau } 250 \text{ mm}) \\ &= 350 \geq 210 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

d) Syarat Lebar 2

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= b \leq c_2 + 2 \times \text{minimal } (c_2 \text{ atau } 0,75 c_1) \rightarrow \text{ambil terkecil} \\ &= 400 \leq 550 + 2 \times \text{minimal } (550 \text{ atau } 0,75 \times 550) \\ &= 400 \leq 550 + 2 \times \text{minimal } (550 \text{ atau } 412,5) \\ &= 400 \leq 550 + 2 \times 412,5 \\ &= 400 \leq 1375 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

3. Tulangan Tumpuan Atas

- Jumlah tulangan tumpuan atas (n)

$$n = 7$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 7 \times 22}{7 - 1}\end{aligned}$$

$$= 27,667 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

Syarat = Jarak Bersih $\geq$ maksimal (d_b dan 25 mm)

$$= 27,667 \geq \text{maksimal (19 dan 25)} \rightarrow \text{ambil nilai terbesar}$$

$$= 27,200 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang ($A_s \text{ pasang}$)

$$A_s \text{ pasang} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2$$

$$= 7 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2$$

$$= 2659,580 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan minimum ($A_s \text{ min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2)

$$A_{s \text{ min } 1} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 649$$

$$= 914,175 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 2} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 649$$

$$= 865,333 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \text{maksimum (} A_{s \text{ min } 1} \text{ atau } A_{s \text{ min } 2} \text{)}$$

$$= 914,175 \text{ mm}^2$$

- Cek $A_s \text{ min}$:

Syarat = $A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ min}$

$$= 2659,580 \geq 914,175 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times d} = \frac{2659,580}{400 \times 649} = 0,0102$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\rho_{\text{max } 1} = 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times 0,8357 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0,025$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\rho_{\max} = \text{maksimum } (\rho_{\max 1} \text{ atau } \rho_{\max 2})$$

$$= 0,025$$

- Cek A_s max :

$$\text{Syarat} = \rho \leq \rho_{\max}$$

$$= 0,0102 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 26559,580 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 93,868 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 26559,580 \times 420 \times \left(649 - \frac{93,868}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 672,522 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{93,868}{0,8} = 117,334 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(649-117,334)}{117,334} \times 0,003 \end{aligned}$$

$$= 0,014$$

- Faktor reduksi (ϕ)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)}$$

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005 = 0,017 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,90 \times 672,522$$

$$= 605,27 \text{ kN-m}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{u \text{ tumpuan } (-)}| \\ &= |-339,4408| \\ &= 339,4408 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 605,27 > \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan ($A_s \text{ perlu}$)

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 339,4408 \times 10^6 \\ &= \frac{339,4408}{420 \times (649 - \frac{93,868}{2})} \times 10^6 \\ &= 1342,365 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4. Tulangan Tumpuan Bawah

- Jumlah tulangan tumpuan bawah (n)

$$n = 5$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{\frac{n-1}{3-1}} \\ &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{3-1} \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq \text{maksimal } (d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}) \\ &= 52,5 \geq \text{maksimal } (19 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar} \\ &= 52,5 \geq 25 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang ($A_s \text{ pasang}$)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 1900,664 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned} A_{s \min 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 914,175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 865,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 3} &= 0,5 \times A_{s \text{ tumpuan}} (-) \\ &= 0,5 \times 2659,580 \\ &= 1329,790 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \text{maksimum} (A_{s \min 1} ; A_{s \min 2} ; \text{atau } A_{s \min 3}) \\ &= 1329,790 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \min}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \min} \\ &= 1900,664 \geq 1329,790 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{1900,664}{400 \times 649} = 0,0073$$

- Rasio tulangan maksimum ($\rho_{\max}$)

$$\begin{aligned} \rho_{\max 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times 0,8 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= \text{maksimum} (\rho_{\max 1} \text{ atau } \rho_{\max 2}) \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \max}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\max} \\ &= 0,0073 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= 1900,664 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 400} \\
 &= 67,082 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\
 &= 1900,664 \times 420 \times \left(649 - \frac{67,082}{2}\right) \times 10^{-6} \\
 &= 491,308 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{67,082}{0,8} = 83,853 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(649-83,853)}{83,853} \times 0,003 \\
 &= 0,020
 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005 = 0,037 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,90 \times 491,308 \\
 &= 442,177 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}
 M_u &= |M_{u \text{ tumpuan}} (+)| \\
 &= |328,8458| \\
 &= 328,846 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\
 &= 442,177 > 328,846 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6 \\
 &= \frac{328,846}{420 \times (649 - \frac{67,082}{2})} \times 10^6 \\
 &= 328,846 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

5. Tulangan Lapangan Atas

- Jumlah tulangan lapangan atas (n)

$$n = 5$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{4 - 1} \\
 &= 52,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

Syarat = Jarak Bersih $\geq$ maksimal (d_b dan 25 mm)

$$= 52,5 \geq \text{maksimal (19 dan 25)} \rightarrow \text{ambil nilai terbesar}$$

$$= 52,5 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\
 &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\
 &= 1900,664 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \text{ min}}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 649 \\
 &= 914,175 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 649 \\
 &= 865,333 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 3} &= 0,25 \times A_{s \text{ tumpuan (-)}} \\
 &= 0,25 \times 2659,580 \\
 &= 664,895 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum} (A_{s \text{ min } 1} ; A_{s \text{ min } 2} ; \text{atau } A_{s \text{ min } 3}) \\
 &= 914,175 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \text{ min}}$:

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}} \\
 &= 1900,664 \geq 914,175 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{1900,664}{400 \times 649} = 0,0073$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max } 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 \times 0,8 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max } 2} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= \text{maksimum} (\rho_{\text{max } 1} \text{ atau } \rho_{\text{max } 2}) \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \text{ max}}$:

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\text{max}} \\
 &= 0,0073 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= 1900,664 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 400} \\
 &= 67,082 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6}$$

$$= 1900,664 \times 420 \times \left(649 - \frac{67,082}{2}\right) \times 10^{-6}$$

$$= 491,308 \text{ kN-m}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{67,082}{0,8} = 83,853 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{(649-83,853)}{83,853} \times 0,003$$

$$= 0,020$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,027 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,90 \times 491,308$$

$$= 442,177 \text{ kN-m}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$M_u = |M_{u \text{ lapangan}} (-)|$$

$$= |-258,844|$$

$$= 258,844 \text{ kN-m}$$

- Cek kapasitas :

$$\text{Syarat} = \phi M_n > M_u$$

$$= 442,177 > 258,844 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang diperlukan ($A_s \text{ perlu}$)

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} \times 10^6$$

$$= \frac{258,844}{420 \times \left(649 - \frac{67,082}{2}\right)} \times 10^6$$

$$= 1001,359 \text{ mm}^2$$

6. Tulangan Lapangan Bawah

- Jumlah tulangan lapangan bawah (n)

$$n = 7$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{7 - 1} \\ &= 27,667 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

Syarat = Jarak bersih $\geq$ maksimal (d_b dan 25 mm)

$$= 27,667 \geq \text{maksimal (19 dan 25)} \rightarrow \text{ambil nilai terbesar}$$

$$= 27,667 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang ($A_s \text{ pasang}$)

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 7 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 2660,929 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_s \text{ min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 914,175 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 865,333 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min } 3} &= 0,25 \times A_s \text{ tumpuan (-)} \\ &= 0,25 \times 2659,580 \\ &= 664,895 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum } (A_{s \text{ min } 1} ; A_{s \text{ min } 2} ; \text{ atau } A_{s \text{ min } 3}) \\ &= 914,175 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Cek $A_s \text{ min}$:

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ min} \\ &= 2660,929 \geq 914,175 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times d} = \frac{2660,929}{400 \times 649} = 0,010$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\begin{aligned}\rho_{\text{max}1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,75 \times 0,8 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600+420} \\ &= 0,025\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max}2} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{max}} &= \text{maksimum} (\rho_{\text{max}1} \text{ atau } \rho_{\text{max}2}) \\ &= 0,025\end{aligned}$$

- Cek $A_s \text{ max}$:

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\text{max}} \\ &= 0,010 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$\begin{aligned}a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= 2660,929 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 350} \\ &= 93,915 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 2660,929 \times 420 \times \left(649 - \frac{93,915}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 672,837 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{93,915}{0,8} = 117,394 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(649 - 117,394)}{117,394} \times 0,003 \\ &= 0,014\end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,021 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 672,837 \\ &= 605,553 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{u \text{ lapangan (+)}}| \\ &= |236,358| \\ &= 236,358 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 605,553 > 236,358 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan ($A_s \text{ perlu}$)

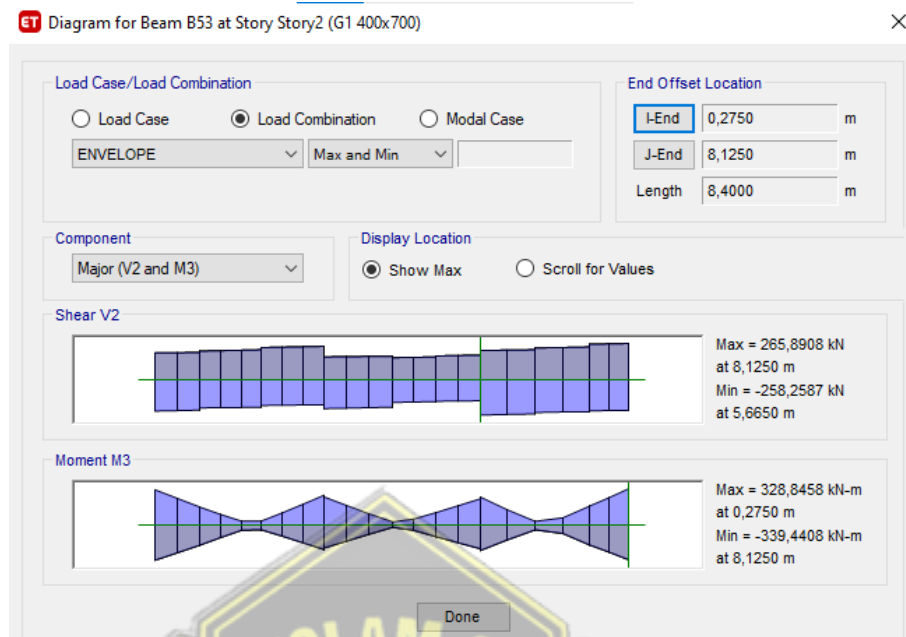
$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6 \\ &= \frac{236,358}{420 \times (649 - \frac{93,915}{2})} \times 10^6 \\ &= 934,745 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4.11.3 Perhitungan Tulangan Transversal Balok

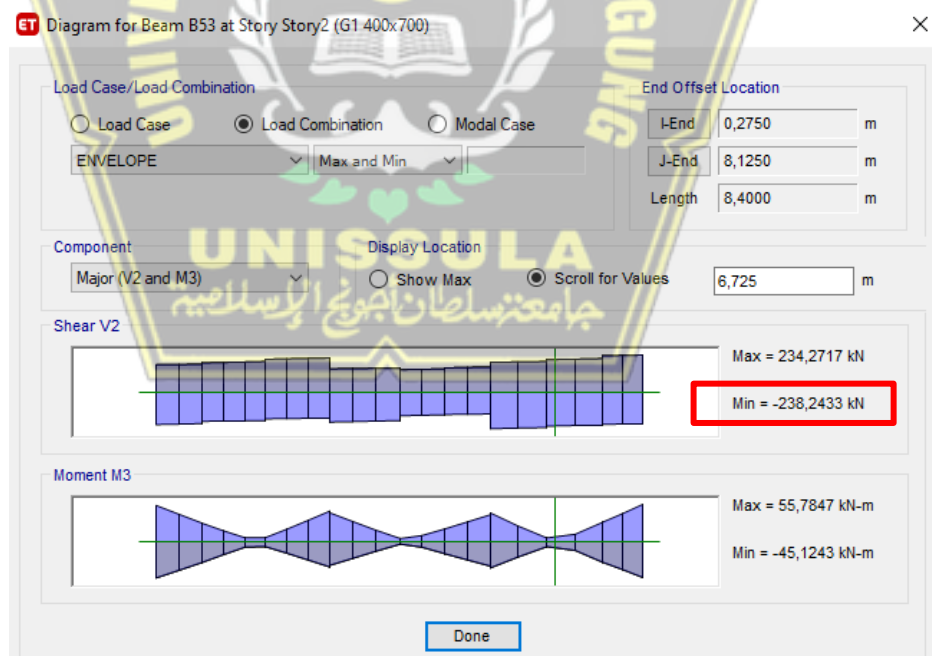
Tulangan transversal pada balok merupakan tulangan yang berguna untuk menahan gaya geser ultimit yang diterima balok. Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal balok yang dilakukan, antara lain:

1. Gaya Dalam

Gaya dalam berupa gaya geser ultimit tumpuan dan lapangan pada balok G1. Gambar 4.40 dan Gambar 4.41 memperlihatkan visualisasi gaya geser ultimate dari tumpuan dan medan pada balok G1 sebagaimana ditentukan dari ETABS.



Gambar 4.40. Gaya Geser Ultimit Tumpuan Balok B1
 (Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.41. Gaya Geser Ultimit Lapangan Balok B1
 (Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Gaya-gaya dalam dari ETABS digunakan untuk membangun tulangan transversal balok B1 pada abutment dan lapangan dalam bentuk gaya geser ultimate :

- $V_u \text{ tumpuan} = 265,8908 \text{ kN}$
- $V_u \text{ lapangan} = 234,2717 \text{ kN}$

2. Tulangan Transversal Tumpuan

a) Gaya Desain

(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R18.6.5)

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi dengan kombinasi $1,2 D + L$ yang didapat dari ETABS didapatkan hasil sebagai berikut:

$$V_g \text{ tumpuan} = 28,0305 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan tulangan longitudinal balok di atas, didapatkan luas tulangan pada daerah tumpuan sebagai berikut:

$$A_s^+ \text{ tumpuan} = 1900,664 \text{ mm}^2$$

$$A_s^- \text{ tumpuan} = 2659,580 \text{ mm}^2$$

• Probable Moment Capacities (M_{pr})

$$a_{pr}^+ = 1,25 a \text{ (tumpuan positif desain lentur)}$$

$$= 1,25 \times 67,082$$

$$= 83,853 \text{ mm}^2$$

$$a_{pr}^- = 1,25 a \text{ (tumpuan negatif desain lentur)}$$

$$= 1,25 \times 93,868$$

$$= 117,334 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= A_s^+ \times 1,25 f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^+}{2}\right) \\ &= 1900,664 \times 1,25 \times 420 \times \left(649 - \frac{83,853}{2}\right) \\ &= 605767398 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= A_s^- \times 1,25 f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2}\right) \\ &= 2659,580 \times 1,25 \times 420 \times \left(649 - \frac{117,334}{2}\right) \\ &= 824269579 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

• Gaya Geser Akibat Goyangan (V_{sway})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.1)

Gaya geser akibat goyangan dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{\text{pr}} &= \frac{M_{\text{pr}}^+ + M_{\text{pr}}^-}{L_n} \\
 &= \frac{605767398 + 824269579}{7850} \\
 &= 182170 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Gaya Geser Desain Akibat Goyangan (V_e)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.1)

Gaya geser desain akibat goyangan dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 V_e &= V_g + V_{\text{pr}} \\
 &= 28,0305 \times 10^3 + 182170 \\
 &= 210201 \text{ N}
 \end{aligned}$$

b) Tahanan Geser Beton

- Gaya Geser Akibat Goyangan (V_{sway})

$$V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{\text{pr}} = 182170 \text{ N}$$

- $\frac{1}{2}$ Gaya Geser Desain Akibat Goyangan ($\frac{1}{2} V_e$)

$$\frac{1}{2} V_e = \frac{1}{2} \times 210201 = 105100 \text{ N}$$

- Gaya Aksial Terfaktor (P_u)

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

- Menghitung $\frac{A_g f_c'}{20}$:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_g f_c'}{20} &= \frac{400 \times 700 \times 35}{20} \\
 &= 490000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Kuat Geser Nominal Beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.2)

$$\text{Syarat} = V_c = 0, \text{ jika } V_{\text{pr}} \geq \frac{1}{2} V_e \text{ dan } P_u < \frac{A_g f_c'}{20}$$

$$V_{\text{pr}} \geq \frac{1}{2} V_e = 182170 \geq 105100 \rightarrow \text{OK}$$

$$P_u < \frac{A_g f_c'}{20} = 0 < 490000 \rightarrow \text{OK}$$

$$V_c = 0$$

c) Penulangan Geser

- Jumlah kaki (n)

$$n = 3$$

- Luas tulangan geser (A_v)

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,619 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Spasi tulangan (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.4.4)

$$\begin{aligned} s_{\max 1} &= \frac{1}{4} \times d = \frac{1}{4} \times 649 = 162,25 \text{ mm} \\ s_{\max 2} &= 6 \times d_b = 6 \times 22 = 132,00 \text{ mm} \\ s_{\max 3} &= 150 \text{ mm} \\ s_{\max} &= \text{minimal } (s_{\max 1} ; s_{\max 2} ; \text{ atau } s_{\max 3}) \\ &= 132,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 100 < 132,00 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{235,619 \times 420 \times 649}{100} \\ &= 642251 \text{ N} \end{aligned}$$

- Batas kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s) :

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.1.2)

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 649 \\ &= 1013637 \text{ N} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat geser (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 12.5.3.2 dan 21.2.4)

$$\phi = 0,75$$

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 0 + 642251 \end{aligned}$$

$$= 642251 \text{ N}$$

- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \times V_n \\ &= 0,75 \times 642251 \\ &= 481688,25 \text{ N}\end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned}V_u &= V_{u \text{ tumpuan}} \times 10^3 \\ &= 265,8908 \times 10^3 \\ &= 265891 \text{ N}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1 \\ &= \frac{481688,25}{265891} \geq 1 \\ &= 1,812 \geq 1 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

3. Tulangan Transversal Lapangan

a) Gaya Dalam

$$V_{u \text{ lapangan}} = 234,2717 \text{ kN}$$

b) Penulangan Geser

- Jumlah kaki (n)

$$n = 3$$

- Luas tulangan geser (A_v)

$$\begin{aligned}A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,619 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.4.6)

$$s_{\max} = \frac{1}{2} \times d = \frac{1}{2} \times 649 = 324,50 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 150 < 324,50 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{235,619 \times 420 \times 649}{150} \\ &= 428168 \text{ N} \end{aligned}$$

- Batas kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s) :
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.1.2)

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 649 \\ &= 1013637 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kuat geser nominal beton (V_c)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.5.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 649 \\ &= 261088 \text{ N} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat geser (ϕ)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 12.5.3.2 dan 21.2.4)

$$\phi = 0,75$$

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 261088 + 428168 \\ &= 689256 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \times V_n \\ &= 0,75 \times 689256 \\ &= 516942 \text{ N} \end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned} V_u &= V_{u \text{ lapangan}} \times 10^3 \\ &= 234,2717 \times 10^3 \\ &= 234271,7 \text{ N} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\text{Syarat} = \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1$$

$$= \frac{516942}{234271,7} \geq 1$$

$$= 2,207 \geq 1 \rightarrow \text{OK}$$

4.11.4 Perhitungan Tulangan Torsi Balok

Tulangan torsi pada balok merupakan tulangan yang berguna untuk menahan gaya torsi yang diterima balok. Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal balok yang dilakukan, antara lain:

1. Parameter Umum untuk Perhitungan Torsi

- Luas dibatasi keliling luar penampang beton (A_{cp})

$$A_{cp} = b \times h = 400 \times 700 = 280000 \text{ mm}^2$$

- Keliling luar penampang beton (p_{cp})

$$\begin{aligned} p_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (400 + 700) \\ &= 2200 \text{ mm} \end{aligned}$$

- x_0
- $$\begin{aligned} &= b - 2c_c - d_s \\ &= 400 - 2 \times 30 - 10 \\ &= 330 \text{ mm} \end{aligned}$$

- y_0
- $$\begin{aligned} &= h - 2c_c - d_s \\ &= 700 - 2 \times 30 - 10 \\ &= 630 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Luas lingkup garis pusat tulangan torsi (A_{oh})
(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R22.7.6.1.1)

$$\begin{aligned} A_{oh} &= x_0 \times y_0 \\ &= 330 \times 630 \\ &= 207900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas bruto lingkup lintasan alir geser (A_o)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1.1)

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 207900 \\ &= 176715 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Keliling garis pusat tulangan torsi (p_h)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$p_h = 2 \times (x_0 + y_0)$$

$$= 2 \times (330 + 630)$$

$$= 1920 \text{ mm}$$

- Kuat leleh tulangan (f_y)

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

- Kuat leleh tulangan torsi (f_{yt})

$$f_{yt} = f_y = 420 \text{ MPa}$$

- Menghitung f_y / f_{yt} :

$$\frac{f_y}{f_{yt}} = \frac{420}{420} = 1$$

- Sudut antara sumbu *strut* dan kord (θ)

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.6.1.2)

$$\theta = 45^\circ \text{ (non prategang)}$$

2. Gaya Dalam

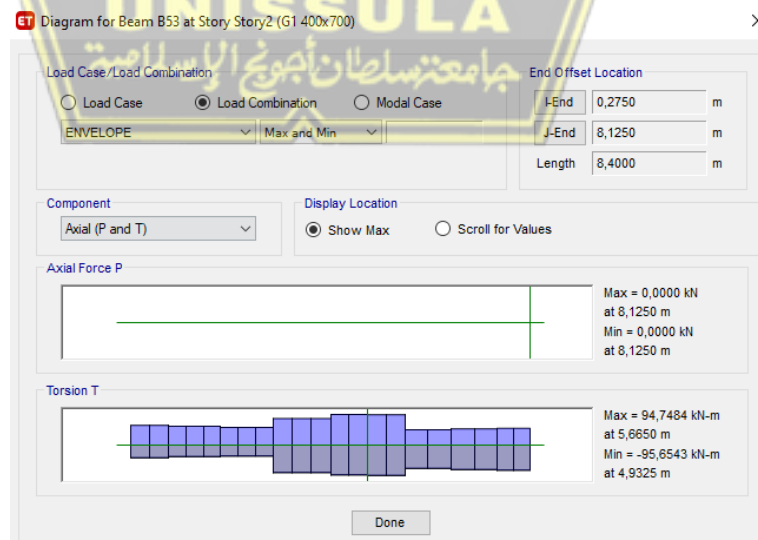
Gaya dalam berupa gaya torsi pada balok B1 yang didapat dari ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan torsi balok sebagai berikut:

$$T_u = 94,7484 \text{ kN-m}$$

$$= 94,7484 \times 10^6$$

$$= 94748400 \text{ N-mm}$$

Tampilan gaya torsi pada balok B1 yang didapat dari ETABS dapat dilihat pada Gambar 4.42.



Gambar 4.42. Gaya Torsi Balok B1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

3. Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

- Momen retak torsi (T_{cr})

$$\begin{aligned}T_{cr} &= 0,33 \times \sqrt{f_c} \times \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \\&= 0,33 \times \sqrt{30} \times \frac{280000^2}{2200} \\&= 69573098 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat torsi (ϕ)
(SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.1)

$$\phi = 0,75$$

- Kapasitas torsi tereduksi (ϕT_{cr})

$$\begin{aligned}\phi T_{cr} &= \phi \times T_{cr} \\&= 0,75 \times 69573098 \\&= 52179823,69 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Cek perlu tulangan torsi :

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.4.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= T_u > \frac{1}{4} \phi T_{cr} \\&= 94748400 > \frac{1}{4} \times 13044956 \\&= 94748400 > 9686986,92 \rightarrow \text{Perlu}\end{aligned}$$

4. Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

- Momen torsi ultimit yang dipakai (T_u pakai)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.3.2 dan 22.7.5)

$$\begin{aligned}T_u \text{ pakai} &= \text{minimal } (\phi T_{cr} \text{ atau } T_u) \\&= \text{minimal } (52179823,69 \text{ atau } 94748400) \\&= 52179823,69 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned}V_u &= V_{u \text{ tumpuan}} \times 10^3 \\&= 265,891 \times 10^3 \\&= 265891 \text{ N}\end{aligned}$$

- Kuat geser nominal beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.5.1)

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\&= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 649\end{aligned}$$

$$= 261088 \text{ N}$$

- Tegangan ultimit geser + torsi

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.7.1)

Tegangan ultimit geser + torsi

$$= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times p_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{265891}{400 \times 649}\right)^2 + \left(\frac{52179823,69 \times 1920}{1,7 \times 207900^2}\right)^2}$$

$$= 1,705 \text{ MPa}$$

- Kapasitas tegangan beton

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.7.1)

Kapasitas tegangan beton

$$= \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f_c'}\right)$$

$$= \phi \times \left(\frac{261088}{400 \times 649} + 0,66 \times \sqrt{35}\right)$$

$$= 3,683 \text{ MPa}$$

- Cek dimensi penampang :

$$= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times p_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f_c'}\right)$$

$$= 1,705 \leq 3,683 \rightarrow \text{OK}$$

5. Penulangan Transversal Torsi

- Jumlah kaki (n)

$$n_{\text{tumpuan}} = 3$$

$$n_{\text{lapangan}} = 3$$

- Spasi tulangan (s)

$$s_{\text{tumpuan}} = 100 \text{ mm}$$

$$s_{\text{lapangan}} = 150 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{max})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.7.6.3.3)

$$s_{\text{max } 1} = \frac{1}{8} \times p_h = \frac{1}{8} \times 1920 = 240 \text{ mm}$$

$$s_{\text{max } 2} = 300 \text{ mm}$$

$$s_{\text{max}} = \text{minimal } (s_{\text{max } 1} \text{ atau } s_{\text{max } 2})$$

$$= 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s_{\text{tumpuan}} < s_{\text{max}} = 100 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

$$S_{\text{lapangan}} < S_{\text{max}} = 150 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t})

$$\begin{aligned} A_{v+t \text{ tumpuan}} &= n_{\text{tumpuan}} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t \text{ lapangan}} &= n_{\text{lapangan}} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi pasang (s_{pasang})

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{\text{tumpuan pasang}} &= \frac{A_{v+t \text{ tumpuan}}}{s_{\text{tumpuan pasang}}} \\ &= \frac{235,5}{100} \\ &= 2,356 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{\text{lapangan pasang}} &= \frac{A_{v+t \text{ lapangan}}}{s_{\text{lapangan pasang}}} \\ &= \frac{235,5}{150} \\ &= 1,571 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Luas satu kaki sengkang penahan torsi (A_t) / spasi (s)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned} A_t / s &= \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_{yt}} \\ &= \frac{17852000}{2 \times 0,75 \times 176715 \times 420} \\ &= 0,469 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser (A_v) / spasi perlu (s_{perlu})

$$\begin{aligned} A_v / s_{\text{tumpuan perlu}} &= \left(\frac{V_{u \text{ tumpuan}}}{\phi} - V_{c \text{ tumpuan}} \right) / (f_y \times d) \\ &= \left(\frac{265891}{0,75} - 0 \right) / (420 \times 649) \\ &= 1,301 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v / s_{\text{lapangan perlu}} &= \left(\frac{V_{u \text{ lapangan}}}{\phi} - V_{c \text{ lapangan}} \right) / (f_y \times d) \\ &= \left(\frac{234271,7}{0,75} - 261088 \right) / (420 \times 649) \\ &= 0,188 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi perlu (s_{perlu})
(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R9.5.4.3)

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{tumpuan\ perlu} &= 2 \times (A_t / s) + (A_v / s_{tumpuan\ perlu}) \\ &= 2 \times 0,469 + 1,301 \\ &= 2,238 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{lapangan\ perlu} &= 2 \times (A_t / s) + (A_v / s_{lapangan\ perlu}) \\ &= 2 \times 0,469 + 0,188 \\ &= 1,125 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi minimum (s_{min})
(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.4.2)

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{min\ 1} &= 0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b}{f_y} \\ &= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{400}{420} \\ &= 0,349 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{min\ 2} &= 0,35 \times \frac{b}{f_y} \\ &= 0,35 \times \frac{400}{420} \\ &= 0,333 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{min} &= \text{maks} (A_{v+t} / s_{min\ 1} \text{ atau } A_{v+t} / s_{min\ 2}) \\ &= 0,349 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Cek geser + torsi :

$$A_{v+t} / s_{tumpuan\ pasang} \geq \text{maksimum} (A_{v+t} / s_{perlu} \text{ atau } A_{v+t} / s_{min})$$

$$2,356 \geq \text{maksimum} (2,238 \text{ atau } 0,349)$$

$$2,356 \geq 2,238 \rightarrow \text{OK}$$

$$A_{v+t} / s_{lapangan\ pasang} \geq \text{maksimum} (A_{v+t} / s_{perlu} \text{ atau } A_{v+t} / s_{min})$$

$$1,571 \geq \text{maksimum} (1,125 \text{ atau } 0,349)$$

$$1,571 \geq 1,125 \rightarrow \text{OK}$$

6. Penulangan Longitudinal Torsi

- Diameter tulangan pinggang (d_b)

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

- Diameter tulangan pinggang minimum ($d_{b\ min}$)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.7.5.2)}$$

$$d_{b\ min} = 0,042 s$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,042 \times \text{maksimum } (s_{\text{tumpuan}} \text{ atau } s_{\text{lapangan}}) \\
 &= 0,042 \times 150 \\
 &= 6,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek d_b :

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= d_b \geq d_{b \text{ min}} \\
 &= 10 \geq 6,3 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

$$A_s \text{ perlu tumpuan atas} = 1342,365 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan bawah} = 1272,167 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan atas} = 1001,359 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan bawah} = 934,745 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan longitudinal torsi (A_l)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned}
 A_l &= (A_t / s) \times p_h \\
 &= 0,469 \times 1920 \\
 &= 899,891 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi minimum ($A_{l \text{ min}}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.4.3)

$$\begin{aligned}
 A_{l \text{ min}} &= 0,42 \times \sqrt{f_c} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \times p_h \\
 &= 0,42 \times \sqrt{35} \times \frac{280000}{420} - 0,469 \times 1920 \\
 &= 756,611 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal (A_s)

$$\begin{aligned}
 A_s &= \text{maksimum } (A_l \text{ atau } A_{l \text{ min}}) \\
 &= \text{maksimum } (899,891 \text{ atau } 756,611) \\
 &= 899,891 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi perlu (A_l perlu)

$$\begin{aligned}
 A_l \text{ perlu tumpuan} &= A_s \text{ perlu tumpuan atas} + A_s \text{ perlu tumpuan bawah} \\
 &= 1342,365 + 1272,167 \\
 &= 2614,532 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_l \text{ perlu lapangan} &= A_s \text{ perlu lapangan atas} + A_s \text{ perlu lapangan bawah} \\
 &= 1001,359 + 934,745
 \end{aligned}$$

$$= 1936,104 \text{ mm}^2$$

- Luas tul. longitudinal (A_s) + luas tul. longitudinal torsi perlu ($A_{l \text{ perlu}}$)

$$\begin{aligned} A_s + A_{l \text{ perlu tumpuan}} &= 899,891 + 2614,532 \\ &= 3514,422 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s + A_{l \text{ perlu lapangan}} &= 899,891 + 1936,104 \\ &= 2835,995 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan negatif (n)

$$n \text{ tumpuan atas} = 7$$

$$n \text{ tumpuan tengah} = 2 \text{ (angka kelipatan 2)}$$

$$n \text{ tumpuan bawah} = 5$$

$$\begin{aligned} n \text{ tumpuan vertikal} &= 2 + n \text{ tumpuan tengah} / 2 \\ &= 2 + 2 / 2 \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$n \text{ lapangan atas} = 5$$

$$n \text{ lapangan tengah} = 4 \text{ (angka kelipatan 2)}$$

$$n \text{ lapangan bawah} = 7$$

$$\begin{aligned} n \text{ lapangan vertikal} &= 2 + n \text{ lapangan tengah} / 2 \\ &= 2 + 4 / 2 \\ &= 4 \end{aligned}$$

- Minimal n (n_{atas} atau n_{bawah})

$$\begin{aligned} \text{Minimal } n \text{ tumpuan} &= \text{minimal } (n \text{ tumpuan atas atau } n \text{ tumpuan bawah}) \\ &= \text{minimal } (7 \text{ atau } 5) \\ &= 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Minimal } n \text{ lapangan} &= \text{minimal } (n \text{ lapangan atas atau } n \text{ lapangan bawah}) \\ &= \text{minimal } (5 \text{ atau } 7) \\ &= 5 \end{aligned}$$

- Spasi tumpuan (s_{tumpuan})

$$\begin{aligned} S \text{ horizontal tumpuan} &= \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}} \text{ atau } n_{\text{bawah}}) - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{5 - 1} \\ &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \text{ vertikal tumpuan} = \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n_{\text{vertikal}} - 1}$$

$$= \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 22}{4 - 1}$$

$$= 299$$

S_{tumpuan} = maksimum ($s_{\text{horizontal}}$ atau s_{vertikal})

= maksimum (75 atau 299)

$$= 299$$

- Spasi lapangan (s_{lapangan})

$$S_{\text{horizontal lapangan}} = \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}} \text{ atau } n_{\text{bawah}}) - 1}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{5 - 1}$$

$$= 75 \text{ mm}$$

$$S_{\text{vertikal lapangan}} = \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n_{\text{vertikal}} - 1}$$

$$= \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 22}{4 - 1}$$

$$= 199$$

S_{lapangan} = maksimum ($s_{\text{horizontal}}$ atau s_{vertikal})

= maksimum (75 atau 199)

$$= 199$$

- Cek spasi tulangan longitudinal :

$$S_{\text{tumpuan}} \leq 300 = 299 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

$$S_{\text{lapangan}} \leq 300 = 199 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan longitudinal (A_s)

$$A_{s \text{ tumpuan}} = (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= (7 + 5) \times \frac{3,14}{4} \times 22^2$$

$$= 4561,592533 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ lapangan}} = (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= (4 + 5) \times \frac{3,14}{4} \times 22^2$$

$$= 4561,592533 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan longitudinal torsi pasang ($A_{l \text{ pasang}}$)

$$A_{l \text{ pasang tumpuan}} = (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2$$

$$= 2 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{l \text{ pasang lapangan}} &= (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{\text{bt}}^2 \\
 &= 4 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2 \\
 &= 314 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tul. longitudinal (A_s) + luas tul. longitudinal torsi pasang ($A_{l \text{ pasang}}$)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ tumpuan} + A_{l \text{ pasang tumpuan}} &= 4561,592533 + 157 \\
 &= 4718,672 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ lapangan} + A_{l \text{ pasang lapangan}} &= 4561,592533 + 314 \\
 &= 4875,752 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek lentur + torsi :

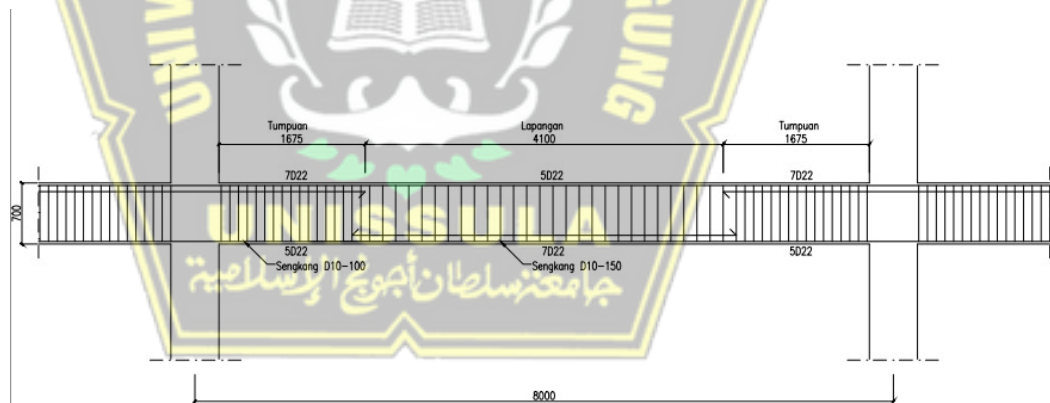
$$A_s \text{ tumpuan} + A_{l \text{ pasang tumpuan}} \geq A_s + A_{l \text{ perlu tumpuan}}$$

$$4718,672 \geq 3514,422 \rightarrow \text{OK}$$

$$A_s \text{ lapangan} + A_{l \text{ pasang lapangan}} \geq A_s + A_{l \text{ perlu lapangan}}$$

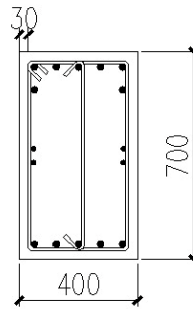
$$4875,752 \geq 2835,995 \rightarrow \text{OK}$$

Gambar tulangan balok B1 yang didapat berdasarkan perhitungan di atas dapat dilihat pada Gambar 4.43 sampai Gambar 4.45.



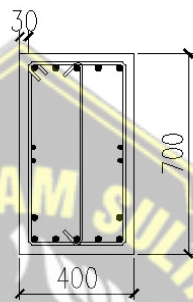
Gambar 4.43. Potongan Memanjang Balok

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.44. Tulangan Tumpuan Balok

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.45. Tulangan Lapangan Balok

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

7. Rekapitulasi Hasil Tulangan Balok

Rekapitulasi tulangan balok berdasarkan hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.43 di bawah ini.

Tabel 4.43. Rekapitulasi Tulangan Balok

Balok Kode	Dimensi (cm)	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tulangan Torsi
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
G1	40x70	Atas	7 D 22	5 D 22	3D10-100	3D10-150	4 D 10
		Bawah	5 D 22	7 D 22			
G2	35x50	Atas	6 D 19	4 D 19	3D10-100	3D10-150	2 D 10
		Bawah	4 D 19	6 D 19			
G3	25x50	Atas	4 D 19	3 D 19	2D10-100	2D10-150	2 D 10
		Bawah	3 D 19	4 D 19			
G4	20x35	Atas	3 D 19	3 D 19	2D10-100	2D-100	2 D 10
		Bawah	3 D 19	3 D 19			
B1	20x40	Atas	3 D 19	3 D 19	2D10-100	2D-100	2 D 10
		Bawah	3 D 19	3 D 19			

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Faktor reduksi kekuatan (ϕ)	= 0,65 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Momen kapasitas balok (M_{nb+})	= 202,67 kNm
Momen kapasitas balok (M_{nb-})	= 154,86 kNm

4.12.2 Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan longitudinal kolom yang dilakukan, antara lain:

1. Gaya Dalam

Tulangan longitudinal kolom dirancang dengan menggunakan gaya geser pada kolom K1 dan kolom overlay yang diperoleh dari ETABS dan gaya dalam yang dialami kolom berupa gaya tekan aksial.

- P_u kolom atas = 2077,384 kN
- P_u kolom desain = 2371,156 kN
- V_u kolom desain = 57,2296 kN

2. Cek Dimensi

Batasan dimensi untuk struktur kolom sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1 harus memenuhi :

a) Dimensi terkecil penampang tidak kurang dari 300 mm

$$\text{Syarat} = b \geq 300 = 550 \geq 300 \rightarrow \text{OK}$$

b) Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4

$$\text{Syarat} = \frac{b}{h} \geq 0,4 = \frac{550}{550} \geq 0,4 = 1 \geq 0,4 \rightarrow \text{OK}$$

3. Cek syarat komponen struktur tahan gempa

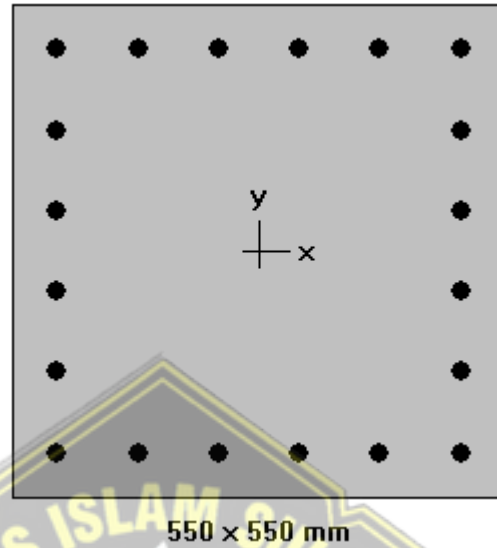
Gaya tekan aksial P_u akibat kombinasi beban yang kurang dari $0,3 A_g f_c'$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= P_u \leq 0,3 A_g \times f_c' \\ &= 2371,156 \leq 0,3 \times 302500 \times 30 \times 10^{-3} \\ &= 2371,156 \leq 3176,25 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

4. Menentukan tulangan longitudinal penahan lentur

SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4 menyatakan luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih besar dari $0,06A_g$. Dengan menggunakan program SPColumn, seperti yang diilustrasikan pada

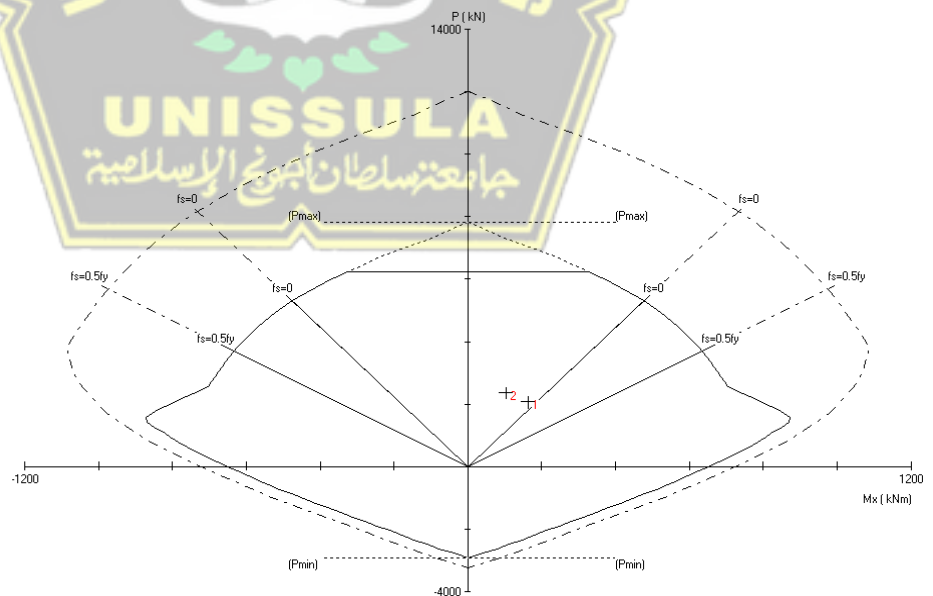
Gambar 4.47, hasil desain tulangan lentur kolom K1 ditemukan secara *trial and error*.



Gambar 4.47. Tulangan Longitudinal Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Gambar 4.48 dan Tabel 4.44 menunjukkan diagram interaksi P_n-M_{pr} SPColumn kolom K1 dan hasil analisis interaksi P_n-M_{pr} kolom K1.



Gambar 4.48. Diagram Interaksi P_n-M_{pr} SPColumn Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.44. Hasil Analisis Interaksi P_n-M_{pr} Kolom K1

No	P_u (kN)	M_{ux} (kNm)	ϕM_{nx} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	dt depth (mm)	ε_t	ϕ
1	2077,00	164,00	790,52	4,820	241	499	0,00322	0,747
2	2371,00	104,00	734,99	7,067	275	499	0,00245	0,681

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

$$0,01 A_g = 0,01 \times 302500 \\ = 3025 \text{ mm}^2$$

$$0,06 A_g = 0,06 \times 302500 \\ = 18150 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = n \times 1/4 \times \pi \times D^2 \\ = 24 \times 1/4 \times 3,14 \times 484 \\ = 7978,74 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat} = 0,01 A_g < A_{st} < 0,06 A_g \\ = 3025 < 7978,74 < 18150 \rightarrow \text{OK}$$

4.12.3 Perhitungan Tulangan Transversal Kolom

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal kolom yang dilakukan, antara lain:

1. Analisis Tulangan Geser sebagai *Confinement*

Pada analisis tulangan geser sebagai kolom ini melalui beberapa tahap, yaitu:

a) Menentukan daerah pemasangan tulangan sengkang persegi (*hoop*), tulangan *hoop* diperlukan sepanjang ℓ_o dari ujung-ujung kolom. Sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.4.3.3 dengan ℓ_o merupakan nilai terbesar dari:

- 1/6 tinggi bersih kolom = $4100 / 6 = 683,3 \text{ mm}$
- Dimensi maksimum kolom = 1000 mm
- 450 mm

Jadi, jarak ℓ_o digunakan 550 mm

b) Penentuan $s_{\max}$ merupakan nilai terbesar dari:

- 1/4 dimensi komponen struktur minimum = $550 / 4 = 137,5 \text{ mm}$

b. $6D = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$

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

$$s_o = 100 + \frac{350 - 221}{3} = 143 \text{ mm}$$

Ambil jarak tulangan transversal 100 mm

c) Penentuan luas tulangan *confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4. Untuk daerah sepanjang ℓ_o dari ujung-ujung kolom total luas penampang *hoop* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar di antara :

- Tinggi penampang inti beton yang tertekan (b_{c1})

$$b_{c1} = h - (2 \times c_c) = 550 - (2 \times 30) = 490 \text{ mm}$$

- Lebar penampang inti beton yang tertekan (b_{c2})

$$b_{c2} = b - (2 \times c_c) = 1000 - (2 \times 30) = 940 \text{ mm}$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

$$A_{ch} = b_c \times b_{c2} = 490 \times 490 = 240100 \text{ mm}^2$$

- Faktor kekuatan beton (k_f) 240100

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 = \frac{35}{175} + 0,6 = 0,8 \rightarrow \text{minimal } 1$$

- Faktor efektivitas pengekangan (k_n)

$$k_n = \frac{n_i}{n_i - 2} = \frac{20}{20 - 2} = 1,11$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$\begin{aligned} A_{sh1} &= 0,3 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ &= 0,3 \times \left(\frac{302500}{240100} - 1 \right) \times \frac{35}{420} \\ &= 0,0065 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh2} &= 0,09 \times \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ &= 0,09 \times \frac{35}{420} \\ &= 0,0075 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh3} &= 0,2 \times k_f \times k_n \times \frac{P_u}{f_{yt} \times A_{ch}} \\ &= 0,2 \times 1 \times 1,11 \times \frac{2371,156 \times 10^3}{420 \times 240100,00} \\ &= 0,00523 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} &= b_c \times A_{sh \text{ max}} \\ &= 490 \times 0,0075 \end{aligned}$$

$$= 3,675 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = s \times \frac{A_{sh}}{s}$$

$$= 100 \times 3,675$$

$$= 367,5 \text{ mm}^2$$

Maka dapat digunakan Sengkang (*hoop*) 4 D13-100

$$A_{s \text{ pasang}} = 4 \text{ kaki} \times 1/4 \times 3,14 \times 13^2 = 530,66 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat} = A_{s \text{ pasang}} > A_{sh}$$

$$= 530,66 > 367,5 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5. Untuk daerah di luar ℓ_0 diberi sengkang dengan spasi tidak melebihi nilai terkecil dari:

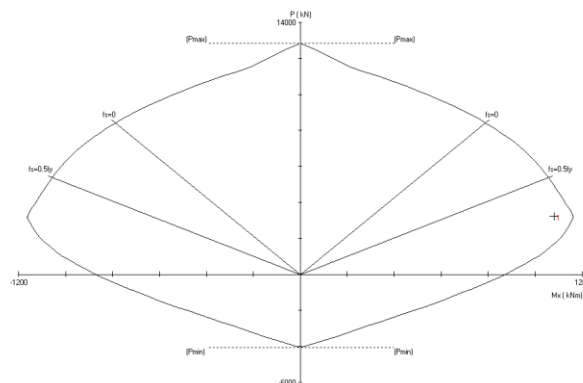
$$\text{a. } 6D = 6 \times 22 = 122 \text{ mm}$$

$$\text{b. } 150 \text{ mm}$$

Maka $s_{\max} = 150 \text{ mm}$ dan dapat digunakan spasi (s) = 150 mm sepanjang sisa kolom bersih.

2. Analisis Gaya Geser Desain Tulangan Sengkang Kolom

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1, gaya geser V_e harus dikurangkan dari gaya geser yang berkaitan dengan engsel plastis pada kedua ujung kolom. Dengan mengasumsikan bahwa $\phi = 1$ dan kuat tarik longitudinal minimum $1,25f_y$, nilai M_{pr} untuk kolom dapat dihitung. Untuk diagram interaksi P_n-M SPColumn dengan $1,25 f_y$ dan hasil analisis interaksi P_n-M SPColumn dengan $1,25 f_y$ dapat dilihat pada Gambar 4.49 dan Tabel 4.45.



Gambar 4.49. Diagram Interaksi P_n-M SPColumn Kolom K1 dengan $1,25 f_y$

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.45. Hasil Analisis Interaksi P_n - M Kolom K1 dengan $1,25 f_y$

No	P_u (kN)	M_{ux} (kNm)	ϕM_{nx} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	dt depth (mm)	ϵ_t	ϕ
1	3242	1080	1164,04	1,078	267	499	0,00261	1,000

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

- Probable Moment of Column (M_{prc})

$$M_{prc} = 1164,04 \text{ kNm}$$

- Tinggi bersih kolom (L_n)

$$\begin{aligned} L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\ &= 3600 - 700 \\ &= 3100 \text{ mm} \\ &= 3,10 \text{ m} \end{aligned}$$

- Probable Moment of Beam (M_{prb})

$$M_{prb \text{ atas}} = 187768299,2 \text{ Nmm} = 187,77 \text{ kNm}$$

$$M_{prb \text{ bawah}} = 244287698,5 \text{ Nmm} = 244,29 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{prb} = 187,77 + 244,29 = 432,06 \text{ kNm}$$

- Faktor distribusi kolom (D_f)

$$D_f = 0,5 \text{ (atas dan bawah dianggap sama)}$$

- Faktor reduksi geser (ϕ)

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser desain (V_e)

$$\begin{aligned} V_{e1} &= \frac{M_{prc \text{ atas}} + M_{prc \text{ bawah}}}{L_n} \\ &= \frac{1164,04 + 1164,04}{3,10} \end{aligned}$$

$$= 750,99 \text{ kN}$$

V_e tidak perlu melebihi dari:

$$\begin{aligned} V_{e2} &= \frac{\sum M_{prb} \times D_{f \text{ atas}} + \sum M_{prb} \times D_{f \text{ bawah}}}{L_n} \\ &= \frac{432,06 \times 0,5 + 432,06 \times 0,5}{3,10} \end{aligned}$$

$$= 139,37 \text{ kN}$$

V_e tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor hasil analisis:

$$V_{e3} = 104,83 \text{ kN}$$

- Dari nilai V_e yang telah dihitung, maka diambil $V_u = 139,37$ kN.
Asumsi kuat geser yang disumbang oleh beton, $V_c = 0$. Maka:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{139,37}{0,75} = 185,83 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{185,83}{420 \times 496} = 0,892 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Untuk $s = 100$ mm, maka:

$$A_v = \frac{A_v}{s} \times 100 = 0,892 \times 100 = 89,2 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Cek $A_{sh} > A_v$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{sh} > A_v \\ &= 530,66 > 89,2 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Digunakan 4 D13-100 untuk sengkang tertutup dan ikat silang dengan

$$A_{sh} = 530,66 \text{ mm}^2.$$

3. Menghitung nilai V_c daerah di luar ℓ_0

(SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{P_u}{14A_g}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2371,156 \times 10^3}{14 \times 302500}\right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 550 \times 496 \\ &= 427,979 \text{ kN} \end{aligned}$$

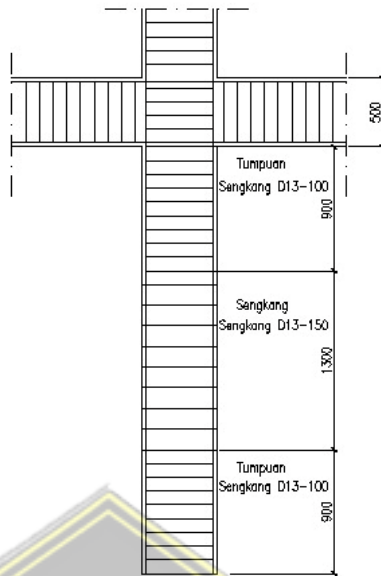
Karena $V_c > V_u$ ($V_u = 139,37$ kN) maka daerah di luar ℓ_0 dipasang tulangan

sengkang dengan jarak:

$$s = \frac{d}{2} = \frac{496}{2} = 248 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5, tulangan melintang tidak boleh melewati ℓ_0 lebih dari 150 mm atau $6d_b$ (150 mm). Jarak maksimum yang dipasang adalah 150 mm.

Hasil perhitungan yang digambarkan pada Gambar 4.50 sampai dengan Gambar 4.52 ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



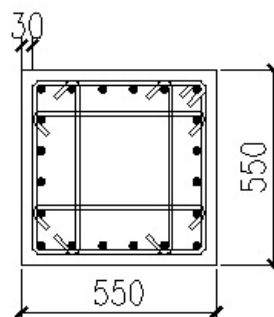
Gambar 4.50. Potongan Memanjang Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.51. Tulangan Ujung Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.52. Tulangan Tengah Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12.4 Rekapitulasi Hasil Tulangan Kolom

Hasil penulangan kolom yang direkapitulasi pada Tabel 4.46 dirangkum di bawah ini berdasarkan hasil perhitungan tulangan untuk semua jenis kolom yang telah dilakukan.

Tabel 4.46. Rekapitulasi Tulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi Kolom	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	
				Tumpuan	Lapangan
1	K550x550	550 × 550	20 D22	4 D13-100	4 D13-150
2	K450x450	450 × 450	16 D22	3 D13-100	3 D13-150
3	K400x400	400 × 400	16 D22	3 D13-100	3 D13-150

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12.5 Perancangan *Strong Column-Weak Beam*

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi Persamaan 4.13 sesuai SNI 2847:2019

Pasal 18.7.3.2 sebagai berikut:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

1. Menentukan nilai $\sum M_{nb}$

$$\begin{aligned}\sum M_{nb} &= M_{nb}^{+} + M_{nb}^{-} \\ &= 202,67 + 154,86 \\ &= 357,53 \text{ kNm}\end{aligned}$$

2. Menentukan nilai $\sum M_{nc}$

Nilai M_{nc} dapat dicari dengan mencari gaya aksial yang dihasilkan oleh kombinasi beban pada kolom atas dan kolom bawah pada diagram interaksi P_n - M SPColumn. Nilai M_{nc} atas dan bawah adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\sum M_{nc} &= M_{nc} \text{ atas} + M_{nc} \text{ bawah} \\ &= 1068,27 + 0 \\ &= 1068,27 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \\ &= 1068,27 \geq 1,2 \times 357,53 \\ &= 1068,27 \geq 429,036 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

4.12.6 Perancangan Hubungan Balok-Kolom (*Joint*)

Hubungan balok-kolom (*joint*) merupakan daerah pertemuan antara kolom dan balok yang harus didetailkan dengan baik. Analisis perhitungan hubungan balok B3 dengan kolom K1 lantai 1 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

4.12.7 Syarat Panjang *Joint*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2.3, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal.

- Lebar kolom (b)
 $b = h = 550 \text{ mm}$
- Diameter tulangan longitudinal terbesar balok (d_b)
 $d_b = 22 \text{ mm}$
 $20d_b = 20 \times 22 = 440 \text{ mm}$
- Cek $b > 20d_b$
Syarat $= b > 20d_b = 550 > 440 \rightarrow \text{OK}$

4.12.8 Tulangan Geser untuk *Confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3.1, jumlah tulangan *confinement* dapat menggunakan seperti pada detail tulangan geser kolom pada ℓ_0 . Dari hasil analisis tulangan geser kolom di atas digunakan tulangan geser 4 D13-100.

4.12.9 Gaya Geser pada *Joint*

Momen balok yang timbul:

- Probable Moment of Beam Positive (M_{prb}^+)
 $M_{prb}^+ = 187,77 \text{ kNm}$
- Probable Moment of Beam Negative (M_{prb}^-)
 $M_{prb}^- = 244,29 \text{ kNm}$
- Faktor distribusi kolom (D_f)
 $D_f = 0,5 \rightarrow \text{OK}$
- Momen terfaktor diperbesar (M_c)
 $M_c = 0,5 \times (M_{prb}^+ + M_{prb}^-)$
 $= 0,5 \times (187,77 + 244,29)$
 $= 216,03 \text{ kNm}$

4.12.10 Gaya Geser pada Kolom

- Tinggi efektif kolom (L_n)

$$\begin{aligned}L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\&= 3600 - 500 \\&= 3100 \text{ mm} \\&= 3,10 \text{ m}\end{aligned}$$

- Gaya geser kolom (V_h)

$$\begin{aligned}V_h &= \frac{M_c}{L_n} \\&= \frac{216,03}{3,10} \\&= 69,69 \text{ kN}\end{aligned}$$

4.12.11 Gaya Geser pada Tulangan Longitudinal Balok

- Luas tulangan atas 4 D19, $A_s = 1133,540 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\&= 1,25 \times 1133,540 \times 420 \\&= 595,11 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kiri hubungan balok kolom, sebesar:

$$C_1 = T_1 = 595,11 \text{ kN}$$

- Luas tulangan bawah 3 D19, $A_s = 850,586 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}T_2 &= 1,25 \times A_s \times F_y \\&= 1,25 \times 850,59 \times 420 \\&= 446,56 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kanan hubungan balok kolom sebesar :

$$C_2 = T_2 = 446,56 \text{ kN}$$

4.12.12 Kuat Geser pada *Joint*

- Kuat geser pada *joint* (V_j) sebesar:

$$\begin{aligned}V_j &= T_1 + T_2 - V_h \\&= 595,11 + 446,56 - 69,69\end{aligned}$$

$$= 971,98$$

4.12.13 Kuat Geser yang dikekang keempat Sisi

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times A_g \\ &= 1,7 \times 1 \times \sqrt{35} \times 302500 \times 10^{-3} \\ &= 3042,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

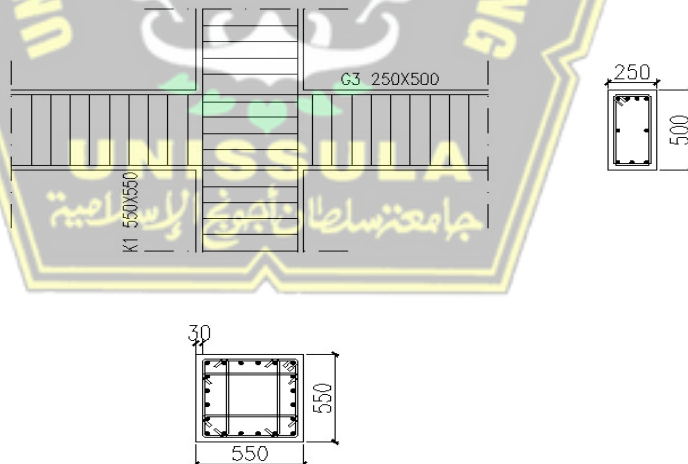
- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\phi V_n = \phi \times V_n = 0,85 \times 3042,34 = 2585,99 \text{ N}$$

- Cek $\phi V_n > V_j$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi V_n > V_j \\ &= 2585,99 > 971,98 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan, kuat geser yang dikekang keempat sisinya lebih besar daripada gaya geser *joint* yang ditimbulkan. Dengan nilai 6744,07 kN > 840,58 kN maka memenuhi persyaratan. Gambar 4.53 menunjukkan representasi sambungan balok-kolom berdasarkan hasil perhitungan.



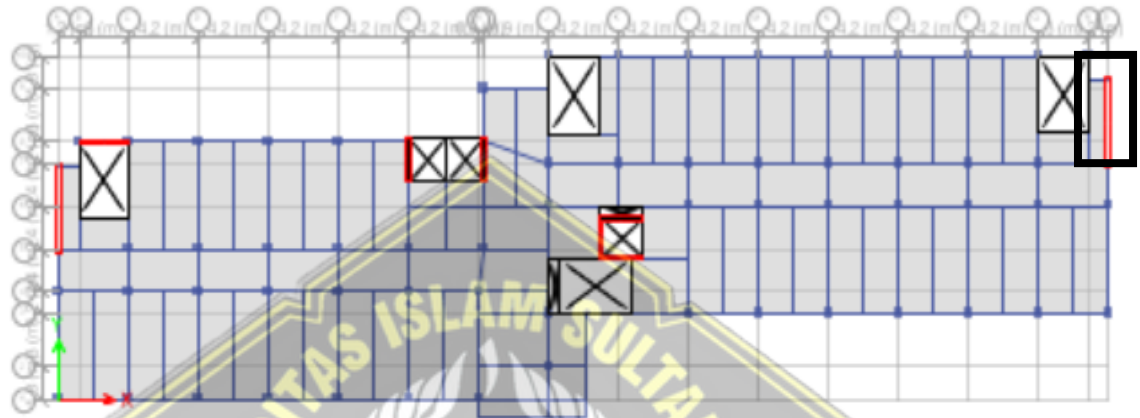
Gambar 4.53. Hubungan Balok Kolom (*Joint*)
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.13 Perancangan Dinding Geser

Perancangan dinding geser memerlukan analisis kapasitas desain dinding geser untuk mengetahui dimensi penampang dinding geser yang didesain agar mampu menahan gaya momen serta gaya geser.

4.13.1 Perhitungan *Shear Wall* 03

Dinding geser yang terlihat pada Gambar 4.54 akan digunakan sebagai contoh perhitungan.



Gambar 4.54. Denah Dinding Geser Sampel
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tebal dinding geser (t_w)	= 300 mm
Panjang dinding geser (L)	= 5050 mm
Panjang kolom (h_k)	= 300 mm
Lebar kolom (b_k)	= 300 mm
Tinggi dinding geser total (h_w)	= 27400 mm
Diameter tul. longitudinal badan (d_l)	= 16 mm
Diameter tul. transversal badan (d_t)	= 16 mm
Diameter tulangan kolom (d_b)	= 16 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 35 MPa
Kuat leleh baja tulangan (f_y)	= 420 MPa

4.12.1.1. Gaya Dalam

Gaya dalam untuk perancangan dinding geser diambil dari analisis menggunakan ETABS ditunjukkan pada Tabel 4.47 dan Tabel 4.48.

Tabel 4.47. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur			
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)
$P_{\max}$	727,434	64,842	13601,123
$P_{\min}$	-4453,311	-232,815	-22633,284
M_2 Max	405,167	278,585	8848,956
M_2 Min	-1871,366	-277,247	-3306,311
M_3 Max	144,585	215,797	25665,913
M_3 Min	-4073,438	-242,691	-26269,039

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.48. Gaya Geser pada Dinding Geser

Gaya Geser	
V_2 (kN)	2757,527
V_3 (kN)	160,807

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12.1.2. Pengecekan Geometri

- Panjang total (L_w)

$$L_w = L + h_k = 5050 + 300 = 5350 \text{ kN}$$

- Panjang bersih (L_n)

$$L_n = L - h_k = 5050 - 300 = 4750 \text{ N}$$

- Luas penampang melintang (A_{cv})

$$A_{cv} = t_w \times L_w = 300 \times 5350 = 1605000 \text{ mm}^2$$

- Luas total dinding geser (A_w)

$$\begin{aligned} A_w &= t_w \times L_n + 2 \times (b_k \times h_k) \\ &= 300 \times 4750 + 2 \times (300 \times 300) \\ &= 160500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.12.1.3. Kebutuhan Tulangan Minimum

- Faktor reduksi kekuatan geser

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser ($\frac{V_u}{\phi}$)

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{2757,525 \times 10^3}{0,75} = 3676699 \text{ N}$$

- Rasio tulangan minimum ($\rho_{\min}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.1)

Rasio tulangan minimal yaitu 0,0025, kecuali jika $V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$, maka rasio tulangan diizinkan sesuai SNI 2847:2019 Tabel 11.6.1.

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 2757,525 < 0,083 \times 1605000 \times \sqrt{35} \\ &= 2757,525 > 788111 \text{ N} \rightarrow \text{Pakai rasio minimal 0,0025} \end{aligned}$$

Karena $V_u > 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$, maka :

- Rasio tulangan longitudinal minimum ($\rho_{l \min}$) = 0,0025
- Rasio tulangan transversal minimum ($\rho_{t \min}$) = 0,0025

- Jumlah lapis tulangan pakai (n_{lapis})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.2)

Minimal 2 lapis tulangan dibutuhkan jika $V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ atau $\frac{h_w}{l_w}$

≥ 2 .

Cek batasan 1:

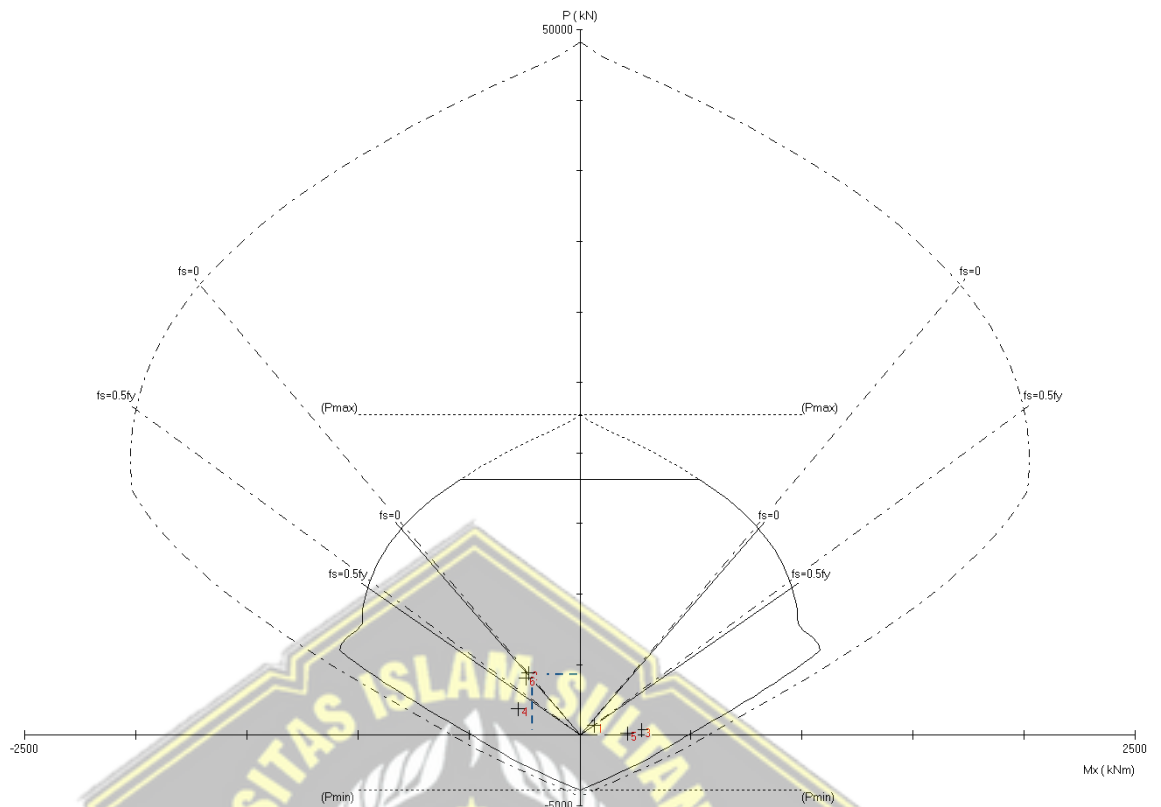
$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 2757,525 > 0,17 \times 1605000 \times \sqrt{35} \\ &= 2757,525 > 1614202 \text{ N} \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis} \end{aligned}$$

Cek batasan 2:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \frac{h_w}{l_w} \geq 2 \\ &= \frac{27400}{5350} \geq 2 \\ &= 5,12 > 2 \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis} \end{aligned}$$

4.12.1.4. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn)

Konfigurasi tulangan longitudinal pada dinding geser didapatkan dari hasil *trial and error* menggunakan program SPColumn yaitu 2 D16-200 dan konfigurasi tulangan pada kolom yaitu 6 D16. Untuk diagram interaksi SPColumn dinding geser dan hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} dinding geser dapat dilihat pada Gambar 4.55 dan Tabel 4.49.



Gambar 4.55. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.49. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser

No	P_u (kN)	M_{uy} (kNm)	ϕM_{ny} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	d_t depth (mm)	ϵ_t	ϕ
1	727.00	64.00	567.64	8.869	43	250	0.01451	0.900
2	4453.00	-232.00	-947.12	4.082	76	250	0.00692	0.900
3	405.00	278.00	532.86	1.917	41	250	0.01541	0.900
4	1871.00	-277.00	-689.74	2.490	51	250	0.01166	0.900
5	144.00	215.00	504.59	2.347	39	250	0.01617	0.900
6	4073.00	-242.00	-911.55	3.767	72	250	0.00745	0.900

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

1. Bagian Badan

- Spasi tulangan longitudinal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

$$\text{Syarat} = s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.5)

$$\begin{aligned}\rho_l &= n_{\text{lapis}} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_l^2}{t_w \times s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2}{300 \times 200} \\ &= 0,670 \%\end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan minimum

$$\text{Syarat} = \rho_l \geq \rho_{l \min} = 0,670 \% \geq 0,25 \% \rightarrow \text{OK}$$

2. Bagian Kolom

Jumlah tulangan per kolom (n) = 52 mm

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

$$\begin{aligned}\rho_l &= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_b^2}{b_k \times h_k} \\ &= 6 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2}{300 \times 300} \\ &= 1,340 \%\end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan kolom

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= 1 \% \leq \rho \leq 6 \% \\ &= 1 \% \leq 1,340 \% \leq 6 \% \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

4.12.1.5. Pengecekan Kapasitas Geser

- Rasio tinggi dinding dengan panjang total (h_w/L_w)

$$h_w/L_w = 27400 / 5350 = 5,1215$$

- Koefisien kekuatan beton terhadap geser dinding nominal (α_c)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.1)

$$\alpha_c = 0,17 \text{ (untuk } h_w/L_w > 2)$$

- Spasi tulangan transversal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

$$\text{Syarat} = s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser dinding (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} \times (\alpha_c \times \sqrt{f'_c} + \rho_t \times f_y) \\ &= 1605000 \times (0,17 \times \sqrt{35} + 0,670 \% \times 420) \\ &= 6132064 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{n \text{ Max}} = 0,66 \times 1605000 \times \sqrt{35} = 6266903 \text{ N}$$

$$V_{n \text{ Pakai}} = 6132064 \text{ N}$$

- Cek kapasitas geser

$$\text{Syarat} = V_{n \text{ Pakai}} \geq \frac{V_u}{\phi} = 6132064 \geq 3676699 \rightarrow \text{OK}$$

4.12.1.6. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus

Ada 2 metode yang dapat digunakan dalam melakukan pengecekan kebutuhan elemen batas khusus, antara lain:

1. *Displacement-Based Method*

- Panjang zona tekan (c)
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.4)
 $c = 76 \text{ mm}$ (ambil nilai $NA \text{ depth}$ maksimum)
- Perpindahan desain (δ_u)
 $\delta_u = 0$ (boleh dikosongkan)
- Rasio perpindahan desain terhadap tinggi dinding (δ_u/h_w)
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)
 $\delta_u/h_w = 0,005$ (batas maksimum)
- Cek elemen batas khusus
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)
$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= c \geq \frac{L_w}{600 \times (1,5 \times \frac{\delta_u}{h_w})} \\ &= 76 \geq \frac{5350}{600 \times (1,5 \times 0,005)} \\ &= 78 < 1189 \rightarrow \text{tidak perlu elemen batas khusus} \end{aligned}$$

2. *Strength-Based Method*

- Luas penampang total (A_g)
 $A_g = A_w = 1605000 \text{ mm}^2$
- Inersia penampang (I_g)
$$I_g = \frac{1}{12} \times t_w \times L_n^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 + \left(\frac{L}{2} \right)^2 \times b_k \times h_k \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{12} \times 300 \times 4750^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times 300 \times 300^3 + \left(\frac{5050}{2} \right)^2 \times 300 \times 300 \right) \\
&= 3,83 \times 10^{13} \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 1 (σ_1)

$$\begin{aligned}
\sigma_1 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{727,434 \times 10^3}{1605000} + \frac{13601,123 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 9,424 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 2 (σ_2)

$$\begin{aligned}
\sigma_2 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{-4453,311 \times 10^3}{1605000} + \frac{-22633,284 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 17,703 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 3 (σ_3)

$$\begin{aligned}
\sigma_3 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{405,167 \times 10^3}{1605000} + \frac{8848,956 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 6,089 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 4 (σ_4)

$$\begin{aligned}
\sigma_4 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{-1871,366 \times 10^3}{1605000} + \frac{-3306,311 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 3,347 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 5 (σ_5)

$$\begin{aligned}
\sigma_5 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{144,585 \times 10^3}{1605000} + \frac{25665,913 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 17,019 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 6 (σ_6)

$$\begin{aligned}
\sigma_6 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{-4073,438 \times 10^3}{1605000} + \frac{-26269,039 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 19,864 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

- Tegangan maksimum ($\sigma_{\max}$)

$$\sigma_{\max} = \text{maksimum } (\sigma_1 ; \sigma_2 ; \sigma_3 ; \sigma_4 ; \sigma_5 ; \text{ atau } \sigma_6)$$

$$= 19,864 \text{ MPa}$$

- Batas tegangan

$$(\text{SNI } 2847:2019 \text{ Pasal } 18.10.6.3)$$

$$\text{Batas} = 0,2 f_c' = 0,2 \times 35 = 7 \text{ MPa}$$

- Cek perlu elemen batas khusus

$$(\text{SNI } 2847:2019 \text{ Pasal } 18.10.6.3)$$

$$\text{Syarat} = \sigma_{\max} > 0,2 f_c' = 19,864 > 7 \rightarrow \text{Perlu elemen batas khusus}$$

- Tinggi elemen batas khusus (h_{BE})

$$(\text{SNI } 2847:2019 \text{ Pasal } 18.10.6.3)$$

$$\begin{aligned} h_{BE} &= h_w - (0,15 f_c' / \sigma_{\max}) \times h_w \\ &= 27400 - (0,15 \times 35 / 19,864) \times 27400 \\ &= 20158 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.12.1.7. Penulangan Elemen Batas Khusus

Penulangan elemen batas khusus dilakukan pada daerah kolom dan daerah badan sebagai berikut:

1. Daerah Kolom

- Selimut beton (c_c)

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

- Diameter *confinement* (d_s)

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

- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)

$$n_1 = 3$$

- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)

$$n_2 = 3$$

- Spasi (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh \ 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh \ 1}}{s} = \frac{603,186}{100} = 6,032 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh\ 2} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 2}}{s} = \frac{603,186}{100} = 6,037 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b_k - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h_k - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b_k \times h_k = 300 \times 300 = 90000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 220 \times 220 = 48400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar lebar kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} = 0,3 \times (h_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1)$
 $= 0,3 \times (220 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{90000}{48400} - 1)$
 $= 4,727 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{35}{420} = 1,650 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 4,727 \text{ mm}^2$
- Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh\ 1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 6,032 > 4,727 \rightarrow \text{OK}$$

- Sejajar panjang kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} = 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1)$
 $= 0,3 \times (220 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{90000}{48400} - 1)$
 $= 4,727 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{35}{420} = 1,650 \text{ mm}^2$

$$\frac{A_{sh}}{s} \min = \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \min 1 ; \frac{A_{sh}}{s} \min 2 \right) = 4,727 \text{ mm}^2$$

▪ Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh 2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \min = 6,032 > 4,727 \rightarrow \text{OK}$$

2. Daerah Badan

- Selimut beton (c_c)

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

- Diameter *confinement* (d_s)

$$d_s = 13 \text{ mm}$$

- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)

$$n_1 = 4$$

- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)

$$n_2 = 8$$

- Spasi (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh 1}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh 2} = n_2 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 8 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh 2}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Panjang daerah EBK badan (b)

$$b = L_{BE} - h_k = 600 - 300 = 300 \text{ mm}$$

- Lebar daerah EBK tebal dinding (h)

$$h = t_w = 300 \text{ mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b \times h = 300 \times 300 = 90000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 220 \times 220 = 48400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times (h_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\ &= 0,3 \times (220 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{90000}{48400} - 1) \\ &= 4,727 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{35}{420} = 1,650 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 4,727 \text{ mm}^2$$

▪ Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 5,309 > 4,727 \rightarrow \text{OK}$$

- Tegak lurus dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

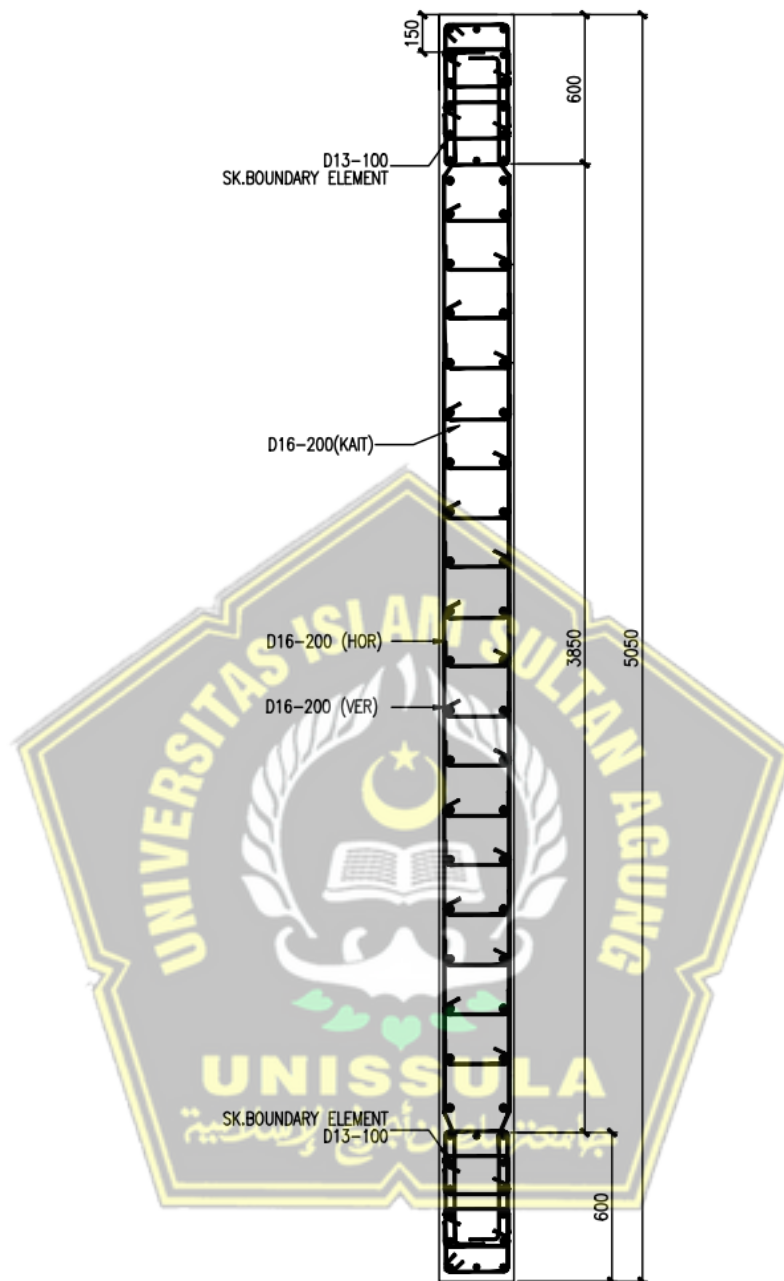
$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\ &= 0,3 \times (795 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{90000}{48400} - 1) \\ &= 4,727 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{35}{420} = 1,650 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 4,727 \text{ mm}^2$$

▪ Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 5,309 > 4,727 \rightarrow \text{OK}$$



Gambar 4.56. Detail Dinding Geser
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.13.2 Perhitungan Shear Wall 04

Tebal dinding geser (t_w) = 200 mm
 Panjang dinding geser (L) = 7800 mm

Panjang kolom (h_k)	= 200 mm
Lebar kolom (b_k)	= 200 mm
Tinggi dinding geser total (h_w)	= 27400 mm
Diameter tul. longitudinal badan (d_l)	= 13 mm
Diameter tul. transversal badan (d_t)	= 13 mm
Diameter tulangan kolom (d_b)	= 13 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 35 MPa
Kuat leleh baja tulangan (f_y)	= 420 MPa

4.12.2.1. Gaya Dalam

Gaya dalam untuk perancangan dinding geser diambil dari analisis menggunakan ETABS ditunjukkan pada Tabel 4.50 dan Tabel 4.51.

Tabel 4.50. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur			
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)
$P_{\max}$	-156,397	526,385	556,875
$P_{\min}$	-5081,613	-9169,272	-14098,161
$M_2 \text{ Max}$	-778,952	8877,312	14307,333
$M_2 \text{ Min}$	-5081,613	-9169,272	-14098,161
$M_3 \text{ Max}$	-778,952	8877,312	14307,333
$M_3 \text{ Min}$	-5081,613	-9169,272	-14098,161

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.51. Gaya Geser pada Dinding Geser

Gaya Geser	
V_2 (kN)	2618,920
V_3 (kN)	817,856

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12.2.2. Pengecekan Geometri

- Panjang total (L_w)

$$L_w = L + h_k = 7800 + 200 = 8000 \text{ kN}$$

- Panjang bersih (L_n)

$$L_n = L - h_k = 7800 - 200 = 16900 \text{ N}$$
- Luas penampang melintang (A_{cv})

$$A_{cv} = t_w \times L_w = 200 \times 8000 = 1600000 \text{ mm}^2$$
- Luas total dinding geser (A_w)

$$\begin{aligned} A_w &= t_w \times L_n + 2 \times (b_k \times h_k) \\ &= 200 \times 16900 + 2 \times (200 \times 200) \\ &= 1600000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.12.2.3. Kebutuhan Tulangan Minimum

- Faktor reduksi kekuatan geser

$$\phi = 0,75$$
- Gaya geser ($\frac{V_u}{\phi}$)

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{2618,920 \times 10^3}{0,75} = 3491893 \text{ N}$$
- Rasio tulangan minimum (ρ_{min})
 (SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.1)
 Rasio tulangan minimal yaitu 0,0025, kecuali jika $V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ maka rasio tulangan diizinkan sesuai SNI 2847:2019 Tabel 11.6.1.

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 2618,920 < 0,083 \times 1600000 \times \sqrt{35} \\ &= 2618,920 < 785655,4 \text{ N} \rightarrow \text{Pakai rasio minimal 0,0025} \end{aligned}$$
 Karena $V_u > 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$, maka :

$$\begin{aligned} \text{Rasio tulangan longitudinal minimum } (\rho_{l \min}) &= 0,0025 \\ \text{Rasio tulangan transversal minimum } (\rho_{t \min}) &= 0,0025 \end{aligned}$$
- Jumlah lapis tulangan pakai (n lapis)
 (SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.2)
 Minimal 2 lapis tulangan dibutuhkan jika $V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ atau $\frac{h_w}{l_w} \geq 2$.
 Cek batasan 1:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 2618,920 < 0,17 \times 1600000 \times \sqrt{35} \end{aligned}$$

$$= 2618,920 < 1314202 \text{ N} \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan 2 lapis}$$

Cek batasan 2:

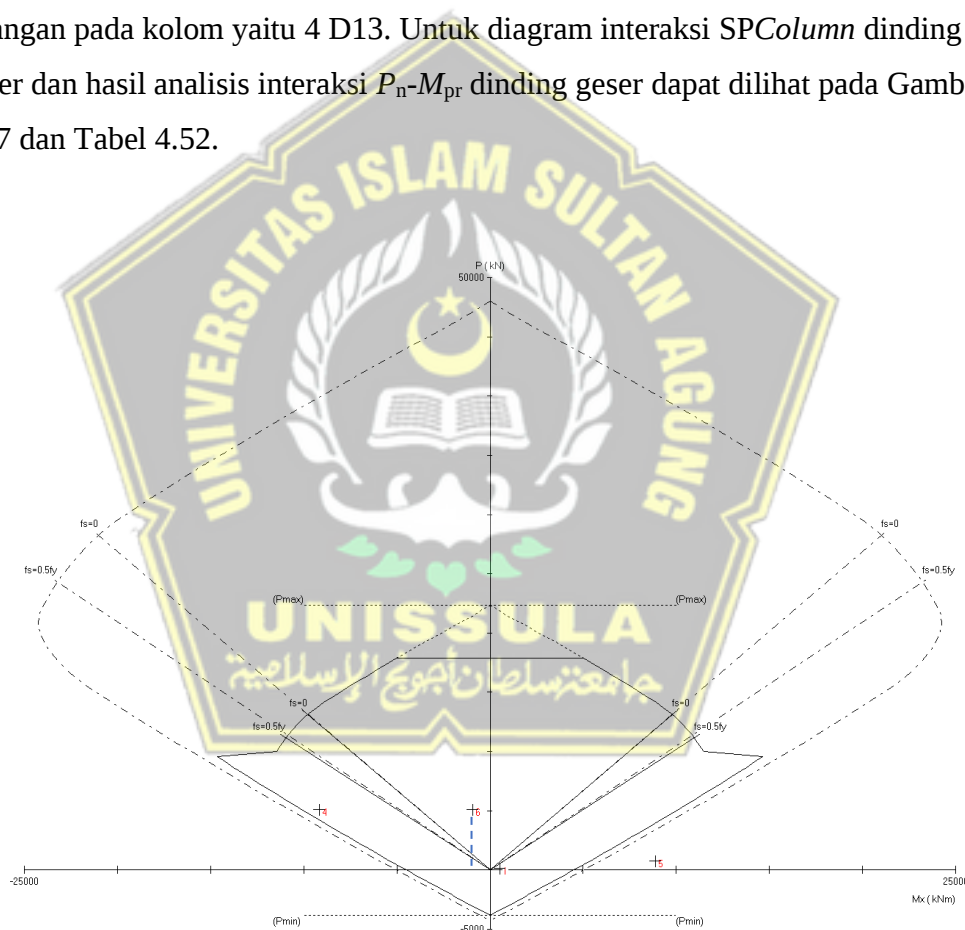
$$\text{Syarat} = \frac{h_w}{l_w} \geq 2$$

$$= \frac{27400}{8000} \geq 2$$

$$= 5,12 > 2 \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis}$$

4.12.2.4. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn)

Konfigurasi tulangan longitudinal pada dinding geser didapatkan dari hasil *trial and error* menggunakan program SPColumn yaitu D13-200 dan konfigurasi tulangan pada kolom yaitu 4 D13. Untuk diagram interaksi SPColumn dinding geser dan hasil analisis interaksi P_n-M_{pr} dinding geser dapat dilihat pada Gambar 4.57 dan Tabel 4.52.



Gambar 4.57. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.52. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser

No	P_u (kN)	M_{uy} (kNm)	ϕM_{ny} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	dt depth (mm)	ε_t	ϕ
1	156.00	526.00	4673.73	8.885	74	2354	0.09271	0.900
2	5081.00	-9169.00	-10077.49	1.099	169	2354	0.03869	0.900
3	778.00	8877.00	5382.06	0.606	87	2354	0.07820	0.900
4	5082.00	-9169.00	-10078.55	1.099	169	2354	0.03869	0.900
5	779.00	8877.00	5383.19	0.606	87	2354	0.07818	0.900
6	5081.00	-917.00	-10077.49	10.990	169	2354	0.03869	0.900

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

1. Bagian Badan

- Spasi tulangan longitudinal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

$$\text{Syarat} = s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.5)

$$\begin{aligned} \rho_l &= n_{\text{lapis}} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_l^2}{t_w \times s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 13^2}{200 \times 200} \\ &= 0,670 \% \end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan minimum

$$\text{Syarat} = \rho_l \geq \rho_{l \text{ min}} = 0,670 \% \geq 0,25 \% \rightarrow \text{OK}$$

2. Bagian Kolom

Jumlah tulangan per kolom (n) = 4 mm

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

$$\begin{aligned} \rho_l &= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_b^2}{b_k \times h_k} \\ &= 4 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 13^2}{200 \times 200} \\ &= 1,327 \% \end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan kolom

$$\text{Syarat} = 1 \% \leq \rho \leq 6 \%$$

$$= 1 \% \leq 1,327 \% \leq 6 \% \rightarrow \text{OK}$$

4.12.2.5. Pengecekan Kapasitas Geser

- Rasio tinggi dinding dengan panjang total (h_w/L_w)

$$h_w/L_w = 27400 / 8000 = 5,1215$$
- Koefisien kekuatan beton terhadap geser dinding nominal (α_c)
 (SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.1)

$$\alpha_c = 0,17 \text{ (untuk } h_w/L_w > 2)$$
- Spasi tulangan transversal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$
- Cek spasi tulangan maksimum
 (SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)
 Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

$$\text{Syarat } = s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$
- Kuat geser dinding (V_n)

$$V_n = A_{cv} \times (\alpha_c \times \sqrt{f_c} + \rho_t \times f_y)$$

$$= 1600000 \times (0,17 \times \sqrt{35} + 0,670 \% \times 420)$$

$$= 6068979 \text{ N}$$

$$V_{n \text{ Max}} = 0,66 \times 1600000 \times \sqrt{35} = 6247380 \text{ N}$$

$$V_{n \text{ Pakai}} = 6068979 \text{ N}$$
- Cek kapasitas geser

$$\text{Syarat } = V_{n \text{ Pakai}} \geq \frac{V_u}{\phi} = 6068979 \geq 3491893 \rightarrow \text{OK}$$

4.12.2.6. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus

Ada 2 metode yang dapat digunakan dalam melakukan pengecekan kebutuhan elemen batas khusus, antara lain:

1. *Displacement-Based Method*

- Panjang zona tekan (c)
 (SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.4)

$$c = 169 \text{ mm (ambil nilai NA depth maksimum)}$$
- Perpindahan desain (δ_u)

$$\delta_u = 0 \text{ (boleh dikosongkan)}$$

- Rasio perpindahan desain terhadap tinggi dinding (δ_u/h_w)
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\delta_u/h_w = 0,005 \text{ (batas maksimum)}$$

- Cek elemen batas khusus
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= c \geq \frac{L_w}{600 \times (1,5 \times \frac{\delta_u}{h_w})} \\ &= 169 \geq \frac{8000}{600 \times (1,5 \times 0,005)} \\ &= 78 < 1189 \rightarrow \text{tidak perlu elemen batas khusus} \end{aligned}$$

2. *Strength-Based Method*

- Luas penampang total (A_g)

$$A_g = A_w = 1600000 \text{ mm}^2$$

- Inersia penampang (I_g)

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times t_w \times L_n^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 + \left(\frac{L}{2} \right)^2 \times b_k \times h_k \right) \\ &= \frac{1}{12} \times 200 \times 7600^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times 200 \times 200^3 + \left(\frac{7800}{2} \right)^2 \times 200 \times 200 \right) \\ &= 8,53 \times 10^{13} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi (σ)

- Tegangan kondisi 1 (σ_1)

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-156,397 \times 10^3}{1600000} + \frac{556,875 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 0,352 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 2 (σ_2)

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-5081,613 \times 10^3}{1600000} + \frac{-14098,161 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 9,619 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 3 (σ_3)

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-778,952 \times 10^3}{1600000} + \frac{14307,33 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 7,026 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 4 (σ_4)

$$\begin{aligned}\sigma_4 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-5081,613 \times 10^3}{1600000} + \frac{-14098,161 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 9,619 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 5 (σ_5)

$$\begin{aligned}\sigma_5 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-778,952 \times 10^3}{1600000} + \frac{14307,333 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 7,026 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 6 (σ_6)

$$\begin{aligned}\sigma_6 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-5081,613 \times 10^3}{1600000} + \frac{-14098,161 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 9,619 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan maksimum ($\sigma_{\max}$)

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \text{maksimum } (\sigma_1 ; \sigma_2 ; \sigma_3 ; \sigma_4 ; \sigma_5 ; \text{ atau } \sigma_6) \\ &= 9,619 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Batas tegangan

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Batas} = 0,2 f'_c = 0,2 \times 35 = 7 \text{ MPa}$$

- Cek perlu elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Syarat} = \sigma_{\max} > 0,2 f'_c = 9,619 > 7 \rightarrow \text{Perlu elemen batas khusus}$$

- Tinggi elemen batas khusus (h_{BE})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\begin{aligned}h_{BE} &= h_w - (0,15 f'_c / \sigma_{\max}) \times h_w \\ &= 27400 - (0,15 \times 35 / 9,619) \times 27400 \\ &= 12446 \text{ mm}\end{aligned}$$

4.12.2.7. Penulangan Elemen Batas Khusus

Penulangan elemen batas khusus dilakukan pada daerah kolom dan daerah badan sebagai berikut:

1. Daerah Kolom

- Selimut beton (c_c)

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

- Diameter *confinement* (d_s)

$$d_s = 13 \text{ mm}$$

- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)

$$n_1 = 6$$

- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)

$$n_2 = 6$$

- Spasi (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh\ 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 6 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 796,394 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 1}}{s} = \frac{796,394}{100} = 6,032 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh\ 2} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 6 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 796,394 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 2}}{s} = \frac{796,394}{100} = 7,964 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b_k - 2 c_c = 200 - 2 \times 40 = 120 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h_k - 2 c_c = 200 - 2 \times 40 = 120 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b_k \times h_k = 200 \times 200 = 40000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 120 \times 120 = 14400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar lebar kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} = 0,3 \times (h_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1)$
 $= 0,3 \times (120 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{40000}{14400} - 1)$
 $= 5,333\text{mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 120 \times \frac{35}{420} = 0,9 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 5,333\text{mm}^2$
- Cek:
Syarat $= \frac{A_{sh1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 7,964 > 5,333 \rightarrow \text{OK}$

- Sejajar panjang kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} = 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1)$
 $= 0,3 \times (120 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{40000}{14400} - 1)$
 $= 5,333\text{mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 120 \times \frac{35}{420} = 0,9 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 5,333\text{mm}^2$
- Cek:
Syarat $= \frac{A_{sh2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 7,94 > 5,333 \rightarrow \text{OK}$

2. Daerah Badan

- Selimut beton (c_c)

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

- Diameter *confinement* (d_s)

$$d_s = 19 \text{ mm}$$

- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)

$$n_1 = 4$$

- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)

$$n_2 = 10$$

- Spasi (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 = 1134,115\text{mm}^2$$

$$\frac{A_{sh1}}{s} = \frac{1134,115}{100} = 11,341 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 10 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 = 2835,287 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh2}}{s} = \frac{2835,287}{100} = 28,353 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Panjang daerah EBK badan (b)

$$b = L_{BE} - h_k = 500 - 200 = 300 \text{ mm}$$

- Lebar daerah EBK tebal dinding (h)

$$h = t_w = 200 \text{ mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h - 2 c_c = 200 - 2 \times 40 = 120 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b \times h = 200 \times 200 = 40000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 120 \times 120 = 14400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times \left(h_c \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \times \left(120 \times \frac{35}{420} \right) \times \left(\frac{40000}{14400} - 1 \right) \\ &= 3,818 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 120 \times \frac{35}{420} = 0,9 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} \right) = 3,818 \text{ mm}^2$$

- Cek:

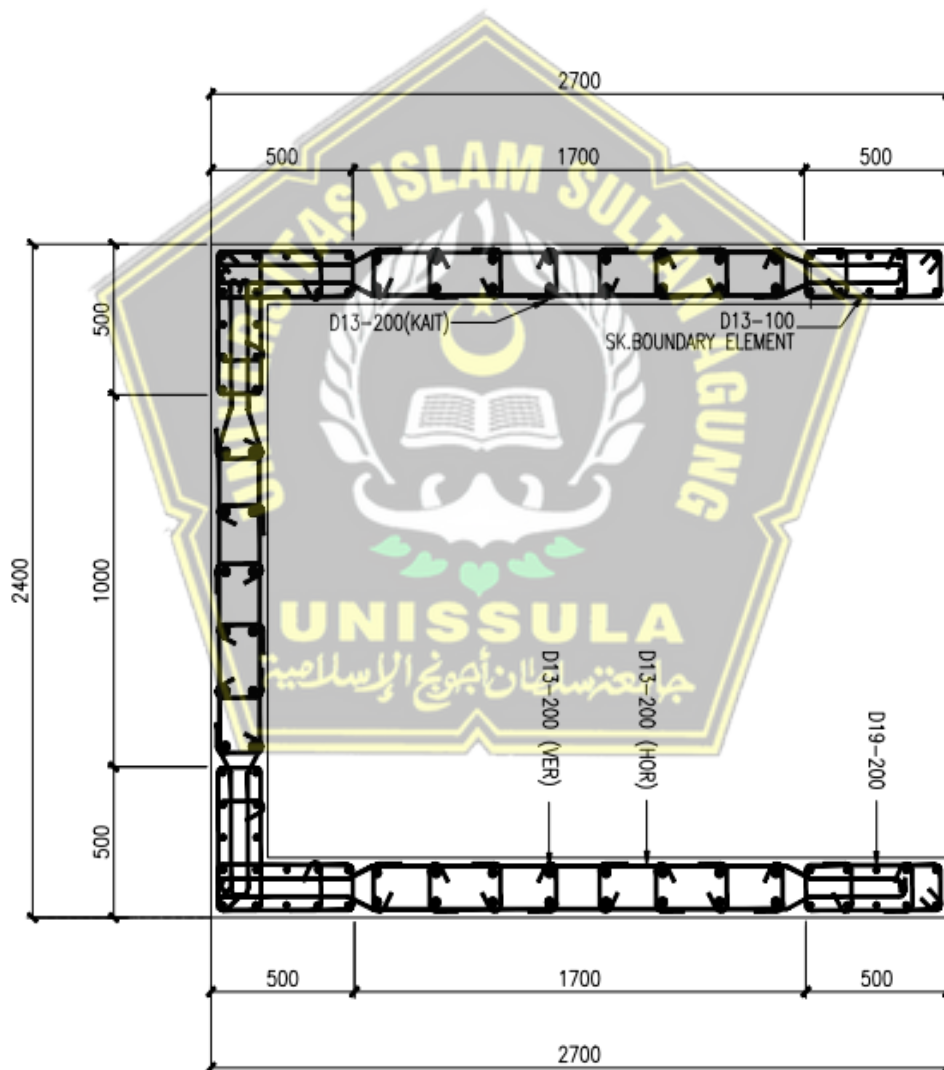
$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 11,341 > 3,818 \rightarrow \text{OK}$$

- Tegak lurus dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} = 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1)$
 $= 0,3 \times (220 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{60000}{26400} - 1)$
 $= 7 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 120 \times \frac{35}{420} = 1,65 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 7 \text{ mm}^2$
- Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 28,353 > 7 \text{ OK}$$



Gambar 4.58. Detail Dinding Geser

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.14. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Perancangan

Rekapitulasi hasil analisis dan perancangan yang telah dilakukan pada Gedung Pendidikan di Gunungpati, Semarang sebagai berikut:

1. Perancangan gedung pendidikan 8 lantai di Gunungpati, Semarang dengan kondisi Tanah Sedang (SD) yang menggunakan sistem struktur ganda (SRPMK dan SDKS) dengan parameter desain pada Tabel 4.53 sebagai berikut:

Tabel 4.53. Parameter Respons Spektra

Parameter Respons Spektra		
Kategori Risiko		II
Faktor Keutamaan	I_e	1
Klasifikasi Situs		SD (Tanah Sedang)
Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek	S_s	0,911
Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik	S_1	0,391
Faktor amplifikasi periode pendek	F_a	1,1356
Faktor amplifikasi periode 1 detik	F_v	1,909
Percepatan pada periode pendek	S_{MS}	1,035
Percepatan pada periode 1 detik	S_{M1}	0,745
Percepatan desain pada periode pendek	S_{DS}	0,69
Percepatan desain pada periode 1 detik	S_{D1}	0,5
Parameter periode	T_0	0,14
	T_s	0,72
Parameter Sistem Ganda		
Faktor koefisien modifikasi	R	7
Faktor kuat lebih sistem	Ω_0	2,5
Faktor pembesaran defleksi	C_d	5,5

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

2. Analisis hasil respon dinamik struktur akibat pembebanan gempa sebagai berikut:

a) Analisis Respon Dinamik

Dari analisis respon dinamik, diperoleh hasil partisipasi massa sebagai berikut:

- Mode 1 = Translasi arah X sebesar 0,826
- Mode 2 = Translasi arah Y sebesar 0,785

- Mode 3 = Rotasi arah Z sebesar 0,601

b) Analisis Gempa dari Struktur Atas

Dari analisis dinamik respon spektrum, diperoleh hasil sebagai berikut:

- Beban gempa untuk arah X
 - $T_x = 0,826$ detik
 - $V_{\text{dinamik X}} = 5000,9234$ kN
- Beban gempa untuk arah Y
 - $T_y = 0,785$ detik
 - $V_{\text{dinamik Y}} = 4994,9393$ kN

c) Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat (*Story Drift*) telah memenuhi syarat. Adapun simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi adalah:

- $\text{Story Drift X} = 147,88 \text{ mm} < 0,01 h / \rho = 210,77 \text{ mm}$
- $\text{Story Drift Y} = 146,18 \text{ mm} < 0,01 h / \rho = 210,77 \text{ mm}$

d) Pengecekan Efek P-Delta

Pengecekan efek P-Delta dari struktur menyimpulkan bahwa struktur tidak dipengaruhi oleh efek P-Delta.

e) Pengecekan Ketidakberaturan Torsi

Pengecekan ketidakberaturan torsi menyimpulkan bahwa tidak terdapat ketidakberaturan torsi horizontal dan tidak terdapat ketidakberaturan torsi vertikal arah X dan arah Y.

3. Analisis gaya dalam yang diperoleh dengan menggunakan ETABS sebagai berikut:

a) Pelat

Dimensi pelat 4200 x 6000 mm dengan tebal 125 mm

- M_{max} akibat $M_{11 \text{ max}} = 2,429$ kN-m
- M_{min} akibat $M_{11 \text{ min}} = -4,562$ kN-m
- M_{max} akibat $M_{22 \text{ max}} = 1,216$ kN-m
- M_{min} akibat $M_{22 \text{ min}} = -2,225$ kN-m
- $V_u = 6,789$ kN

b) Balok

Dimensi balok G1 400 x 700 mm

▪ M_u tumpuan (-)	= -339,4408 kN-m	▪ P_u	= 0 kN
▪ M_u tumpuan (+)	= 328,8458 kN-m	▪ V_u tumpuan	= 265,8908 kN
▪ M_u lapangan (-)	= -258,844 kN-m	▪ V_u lapangan	= 234,2717 kN
▪ M_u lapangan (+)	= 236,3576 kN-m	▪ T_u	= 94,7484 kN-m

Dimensi balok G2 350 x 500 mm

▪ M_u tumpuan (-)	= -161,4829 kN-m	▪ P_u	= 0 kN
▪ M_u tumpuan (+)	= 125,1057 kN-m	▪ V_u tumpuan	= 112,5484 kN
▪ M_u lapangan (-)	= -56,3997 kN-m	▪ V_u lapangan	= 99,7184 kN
▪ M_u lapangan (+)	= 70,2595 kN-m	▪ T_u	= 28,1808 kN-m

Dimensi balok G3 250 x 500 mm

▪ M_u tumpuan (-)	= -114,2741 kN-m	▪ P_u	= 0 kN
▪ M_u tumpuan (+)	= 68,302 kN-m	▪ V_u tumpuan	= 62,6443 kN
▪ M_u lapangan (-)	= -54,046 kN-m	▪ V_u lapangan	= 47,5237 kN
▪ M_u lapangan (+)	= 55,3773 kN-m	▪ T_u	= 10,6174 kN-m

Dimensi balok G4 200 x 250 mm

▪ M_u tumpuan (-)	= -18,2679 kN-m	▪ P_u	= 0 kN
▪ M_u tumpuan (+)	= 13,3808 kN-m	▪ V_u tumpuan	= 23,8814 kN
▪ M_u lapangan (-)	= -13,3758 kN-m	▪ V_u lapangan	= 23,5586 kN
▪ M_u lapangan (+)	= 11,0126 kN-m	▪ T_u	= 0,3 kN-m

Dimensi balok B1 200 x 400 mm

▪ M_u tumpuan (-)	= -48,3923 kN-m	▪ P_u	= 0 kN
▪ M_u tumpuan (+)	= 15,3938 kN-m	▪ V_u tumpuan	= 37,6803 kN
▪ M_u lapangan (-)	= -14,5649 kN-m	▪ V_u lapangan	= 35,2321 kN
▪ M_u lapangan (+)	= 31,0601 kN-m	▪ T_u	= 0,3128 kN-m

c) Kolom

Dimensi kolom K1 550 x 550 mm

- P_u kolom atas = 2077,3841 kN
- P_u kolom desain = 2371,156 kN
- P_u kolom bawah = 0 kN
- M_{ux} kolom atas = 164,29 kN
- M_{ux} kolom desain = 104,8296 kN
- M_{ux} kolom bawah = 0 kN

Dimensi kolom K2 450 x 450 mm

- P_u kolom atas = 661,1179 kN
- P_u kolom desain = 970,4279 kN
- P_u kolom bawah = 133,3829 kN
- M_{ux} kolom atas = 142,08 kN
- M_{ux} kolom desain = 130,7683 kN
- M_{ux} kolom bawah = 213,1923 kN

Dimensi kolom K3 400 x 400 mm

- P_u kolom atas = 0 kN
- P_u kolom desain = 153,8276 kN
- P_u kolom bawah = 376,4392 kN
- M_{ux} kolom atas = 0 kN
- M_{ux} kolom desain = 72,291 kN
- M_{ux} kolom bawah = 71,0613 kN

d) Dinding Geser

Dimensi dinding geser 300 x 2450 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.54 sebagai berikut:

Tabel 4.54. Gaya Dalam pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur				Gaya Geser	
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)		
$P_{\max}$	-50,742	110,115	158,021	V_2 (kN)	685,930
$P_{\min}$	-2640,530	-122,883	-3658,793		
$M_2_{\max}$	-222,935	156,172	443,046		
$M_2_{\min}$	-1196,535	-153,292	-757,261	V_3 (kN)	88,336
$M_3_{\max}$	-875,157	123,930	3592,973		
$M_3_{\min}$	-2640,530	-122,883	-3658,793		

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dimensi dinding geser 200 x 3000 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.55 sebagai berikut:

Tabel 4.55. Gaya Dalam pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur				Gaya Geser	
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)		
$P_{\max}$	458,290	3,454	791,726	V_2 (kN)	2070,887
$P_{\min}$	-1765,571	-22,233	-6872,511		
$M_2_{\max}$	13,538	55,715	1171,136		
$M_2_{\min}$	-166,450	-77,023	-357,084	V_3 (kN)	39,036
$M_3_{\max}$	419,549	24,612	6946,651		
$M_3_{\min}$	-1765,571	-22,233	-6872,511		

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dimensi dinding geser 300 x 5050 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.56 sebagai berikut:

Tabel 4.56. Gaya Dalam pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur				Gaya Geser	
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)		
$P_{\max}$	727,434	64,842	13601,123	V_2 (kN)	2757,525
$P_{\min}$	-4453,311	-232,815	-22633,284		
$M_2_{\max}$	405,167	278,585	8848,956		
$M_2_{\min}$	-1871,366	-277,247	-3306,311	V_3 (kN)	160,807
$M_3_{\max}$	144,585	215,797	25665,913		
$M_3_{\min}$	-4073,438	-242,691	-26269,039		

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dimensi dinding geser 300 x 5050 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.57 sebagai berikut:

Tabel 4.57. Gaya Dalam pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur				Gaya Geser	
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)		
$P_{\max}$	727,434	64,842	13601,123	V_2 (kN)	2757,525
$P_{\min}$	-4453,311	-232,815	-22633,284		
$M_{2 \max}$	405,167	278,585	8848,956		
$M_{2 \min}$	-1871,366	-277,247	-3306,311	V_3 (kN)	160,807
$M_{3 \max}$	144,585	215,797	25665,913		
$M_{3 \min}$	-4073,438	-242,691	-26269,039		

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dimensi dinding geser 300 x 7800 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.58 sebagai berikut:

Tabel 4.58. Gaya Dalam pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur				Gaya Geser	
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)		
$P_{\max}$	-156,397	526,385	556,875	V_2 (kN)	2618,920
$P_{\min}$	-5081,613	-9169,272	-14098,161		
$M_{2 \max}$	-778,952	8877,312	14307,333		
$M_{2 \min}$	-5081,613	-9169,272	-14098,161	V_3 (kN)	817,856
$M_{3 \max}$	-778,952	8877,312	14307,333		
$M_{3 \min}$	-5081,613	-9169,272	-14098,161		

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4. Hasil perancangan berupa desain elemen struktur yang dapat memikul beban gempa dan beban gravitasi sebagai berikut:

a) Pelat

Rekapitulasi hasil penulangan pelat beton pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.59 sebagai berikut:

Tabel 4.59. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Pelat	L_x (m)	L_y (m)	Arah	Tumpuan		Lapangan	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
S1	4,2	6	X	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
			Y	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

b) Balok

Rekapitulasi hasil penulangan balok pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.60 sebagai berikut:

Tabel 4.60. Rekapitulasi Tulangan Balok

Balok Kode	Dimensi (cm)	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tul. Torsi
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
G1	40 × 70	Atas	7 D22	5 D22	3D10-100	3D10-150	2 D10
		Bawah	5 D22	7 D22			
G2	35 × 50	Atas	6 D19	4 D19	3D10-100	3D10-150	2 D10
		Bawah	4 D19	6 D19			
G3	25 × 50	Atas	4 D19	3 D19	2D10-100	2D10-150	2 D10
		Bawah	3 D19	4 D19			
G4	20 × 25	Atas	3 D19	3 D19	2D10-100	2D10-100	2 D10
		Bawah	3 D19	3 D19			
B1	20 × 40	Atas	3 D19	3 D19	2D10-100	2D10-100	2 D10
		Bawah	3 D19	3 D19			

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

c) Kolom

Rekapitulasi hasil penulangan kolom pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.61 sebagai berikut:

Tabel 4.61. Rekapitulasi Tulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi Kolom	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	
				Tumpuan	Lapangan
1	K1	550 × 550	20 D22	4 D13-100	4 D13-100
2	K2	450 × 450	16 D19	3 D13-100	3 D13-100
3	K3	400 × 400	16 D19	3 D13-100	3 D13-100

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

d) Dinding Geser

Rekapitulasi hasil penulangan dinding geser pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.62 sampai 4.65 sebagai berikut:

Tabel 4.62. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 01

Tulangan Kolom	
Longitudinal	6 D16
Transversal (Sejajar Lebar)	4 D13-100
Transversal (Sejajar Panjang)	4 D13-100
Tulangan Badan	
Longitudinal	2 D16-200
Transversal	2 D16-150
Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	4 D13-100
Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	6 D13-100

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.63. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 02

Tulangan Kolom	
Longitudinal	16 D16
Transversal (Sejajar Lebar)	3 D16-100
Transversal (Sejajar Panjang)	3 D16-100
Tulangan Badan	
Longitudinal	2 D16-200
Transversal	2 D16-200
Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	4 D13-100
Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	4 D13-100

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.64. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 03

Tulangan Kolom	
Longitudinal	6 D16
Transversal (Sejajar Lebar)	3 D16-100
Transversal (Sejajar Panjang)	3 D16-100

Tabel 4.64. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 03 (Lanjutan)

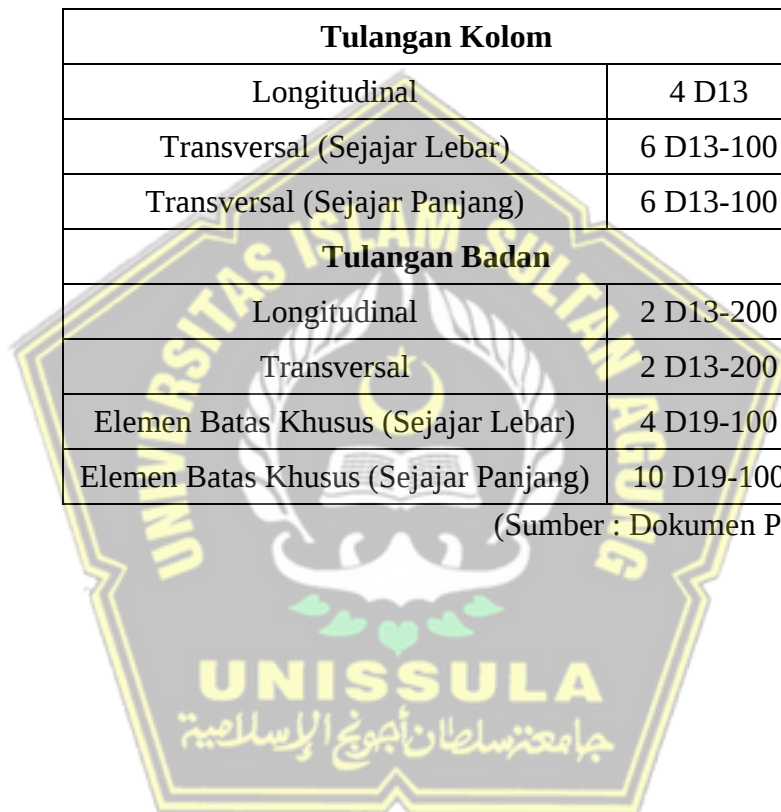
Tulangan Badan	
Longitudinal	2 D16-200
Transversal	2 D16-200
Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	4 D13-100
Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	4 D13-100

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.65. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 04

Tulangan Kolom	
Longitudinal	4 D13
Transversal (Sejajar Lebar)	6 D13-100
Transversal (Sejajar Panjang)	6 D13-100
Tulangan Badan	
Longitudinal	2 D13-200
Transversal	2 D13-200
Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	4 D19-100
Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	10 D19-100

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang telah dibahas pada laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU) SEMARANG” didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Gaya gempa yang dirancang sesuai dengan SNI 1726–2019 pada Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang sebagai berikut :
 - a. Kontrol bentuk ragam dan partisipasi massa bangunan telah terpenuhi pada ragam 23 dari total ragam 23 untuk arah UX, UY, dan RZ. Sehingga partisipasi massa bangunan tranlasi arah X, Y, dan Z telah terpenuhi yaitu 100 % dari massa struktur.
 - b. Simpangan antar lantai pada Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang telah direncanakan sesuai peraturan yang ada dengan hasil simpangan antar lantai terbesar adalah arah X sebesar 147,88 mm dan arah Y sebesar 146,18 mm.
2. Hasil penulangan struktur pada Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang sebagai berikut :
 - a. Penulangan pelat lantai pada perancangan ini menggunakan tebal 120 mm dengan diameter tulangan D10–200 pada tumpuan dan lapangan dengan arah X dan Y.
 - b. Penulangan balok yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi balok 400 x 700 mm dengan diameter tulangan bagian atas 7 D 22 pada area tumpuan dan 5 D 22 pada area lapangan, sedangkan diameter tulangan bagian bawah 5 D 22 pada area tumpuan dan 7 D 22 area lapangan.

- c. Penulangan kolom yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi kolom 550 x 550 mm dengan diameter tulangan pokok 20 D 22, diameter tulangan geser tumpuan 4 D 13–100, dan diameter tulangan geser lapangan 4 D 13–100.
- d. Penulangan dinding geser yang ditinjau pada perancangan ini yang terletak pada area kolom dinding geser menggunakan tulangan longitudinal dengan diameter 6 D 16, tulangan transversal (sejajar lebar) 4 D 13–100, tulangan transversal (sejajar panjang) 4 D 13–100, sedangkan untuk area badan dinding geser menggunakan tulangan longitudinal dengan diameter 2 D 16–200, tulangan transversal 2 D 16–150, tulangan *confinement* Elemen Batas Khusus (sejajar lebar) 4 D 13–100, tulangan *confinement* Elemen Batas Khusus (sejajar panjang) 6 D 13 – 100.
- e. Penulangan hubungan balok – kolom yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi 550 x 550 mm dengan diameter tulangan transversal *confinement* 4 D 13–100, tulangan longitudinal 4 D 19 pada bagian kanan balok, dan 4 D 19 pada bagian kiri balok.

5.2 Saran

Penulisan dari Tugas Akhir yang berjudul “PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU) SEMARANG” ini masih belum dapat dikatakan sempurna dikarenakan masih banyaknya kekurangan di dalamnya. Saran dari penulis untuk penulisan Tugas Akhir berikutnya adalah sebagai berikut :

1. Pada proses perancangan balok, kolom, pelat dan *Shear Wall* dengan memperbesar maupun memperkecil dimensi beton merupakan cara yang masih belum efisien dalam proses perancangannya, karena memperkecil dimensi beton maka akan membutuhkan tulangan yang banyak, jika memperbesar dimensi beton jumlah tulangan akan lebih sedikit, tetapi cara ini juga masih belum efisien, sehingga perlu

dicari dimensi beton dan jumlah tulangan yang optimum jika ingin merancang suatu bangunan yang efisien.

2. Pada *trial error* yang sudah dilakukan, penambahan *Shear Wall* pada perancangan bangunan dan tahan gempa perlu diperhatikan dikarenakan syarat struktur sistem ganda yaitu rangka pemikul momen harus mampu menahan 25% beban gempa desain, sedangkan untuk *Shear Wall* menahan maksimal 75% beban gempa desain.



DAFTAR PUSTAKA

- Standardisasi Nasional Indonesia. (2019). SNI 1726:2019 “*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*”. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Standardisasi Nasional Indonesia. (2019). SNI 2847:2019 “*Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*”. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Standardisasi Nasional Indonesia. (2020). SNI 1727:2020 “*Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*”. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Noer, Adji, Alim Agus, and Joko Prayogi. (2022). “*REDESAIN GEDUNG HOTEL 12 LANTAI (Studi Pada Gedung SkySuites Soho Kedung Baruk Surabaya)*”. Semarang: Universitas Islam Sultan Agung Semarang
- SALAMAH, UMI. (2015). “*PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG (OK, CSSD) RUMAH SAKIT PARU JEMBER 8 LANTAI DENGAN STRUKTUR BETON BERTULANG MENGGUNAKAN SRPMM*”. Jember: Universitas Jember
- Septiyadi, muchammad Danang Fajri dan Alleandro Cahya Pratama. (2022). “*PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG HOTEL TUJUH LANTAI ADHYASTA ABIMANA SEMARANG*”. Semarang: Universitas Semarang
- Fadli, M. Hamzah. (2015). “*Aplikasi ETABS pada Perancangan Gedung 15 Lantai Dengan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Sistem Ganda Sebagai Penahan Beban Gempa Sesuai SNI 1726:2012*”. Jakarta: Universitas Gunadarma
- Imran, I. dan Zulkifli, E. (2014). “*Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*”. Bandung: ITB Press
- Imran, I. dan Hendrik, F. (2016). “*Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*”. Bandung: ITB Press

Frinsilia Jaglien Liando dkk. (2020). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Kuliah 5 Lantai. Jurnal Sipil Statik*. Vol 8, Nomer 4: 471-482.
Manado: Universitas Sam Ratulangi Manado

Laresi, Y. T. (2017). *Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai, Skripsi*. Jakarta: Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie

Puspita, Rizka Rahmi. (2017). *Desain Struktur Gedung Hotel Swiss-Bellin Darmocentrum Pekerjaan Balok-Plat Lantai*. Surabaya: ITS Digilib

Raga, Chyntya Novita. (2021). *Perencanaan Ulang Struktur Atas dan Utama Gedung Perkantoran Bumi Mandiri Surabaya Jawa Timur*. Malang: Politeknik Negeri Malang

