

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dari perhitungan yang didapatkan pada bab-bab sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sesuai dengan penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perbandingan dari segi *Drift* dan simpangan antar lantai untuk kedua sistem struktur, yaitu dari hasil analisis yang didapatkan, baik sistem *Waffle Slab* maupun sistem pelat lantai konvensional tidak berbeda jauh, namun pada sistem *Waffle Slab* memiliki kekakuan dan kekuatan yang lebih besar karena penggunaan balok rusuk sehingga memiliki kemampuan menerima beban gempa yang paling besar yaitu mencapai 4755.296 kN sedangkan sistem pelat lantai konvensional sebesar 4109.65 kN.
2. Perbandingan perilaku dinamis dan deformasi akibat beban gempa untuk kedua gedung adalah:
 - *Waffle Slab*
Target Displacement sebesar 40 cm untuk gedung yang menggunakan sistem *Waffle Slab* terkena sendi plastis di balok pada *Displacement* 14 cm dan terkena sendi plastis di kolom pada *Displacement* 16 cm. Namun, saat gedung mencapai *Target Displacement*, sistem *Waffle Slab* cenderung mengalami lebih banyak sendi plastis pada bagian kolom.

- Pelat Lantai Konvensional

Target Displacement sebesar 40 cm untuk gedung yang menggunakan pelat lantai konvensional terkena sendi plastis di balok pada *Displacement* 10 cm dan terkena sendi plastis di kolom pada *Displacement* 20 cm. Namun, saat gedung mencapai *Target Displacement*, sistem pelat lantai konvensional cenderung mengalami lebih banyak sendi plastis pada bagian balok.

Sehingga diketahui bahwa pada kedua gedung baik sistem *Waffle Slab* maupun sistem pelat lantai konvensional sudah mengalami keruntuhan (*Failure*) pada *Target Displacement* yang ditentukan, yaitu sebesar 40 cm.

3. Pada penelitian sebelumnya bahwa untuk efisiensi penggunaan sistem *Waffle Slab* lebih hemat dari sistem pelat konvensional dari segi kebutuhan volume beton dan berat tulangan baja, dan dari segi struktur lebih menguntungkan memakai sistem *Waffle Slab* dari pada sistem pelat lantai konvensional ditinjau dari jumlah kolom yang dapat dikurangi dan pelat lebih tipis sehingga dapat menambah ruang yang lebih luas.
4. Level kinerja simpangan total maksimum struktur untuk kedua bangunan yaitu *Waffle Slab* dan pelat lantai konvensional *Immediate Occupancy* (IO).
5. Level kinerja simpangan total maksimum inelastik struktur untuk sistem *Waffle Slab* adalah *Immediate Occupancy* (IO), sedangkan untuk sistem pelat lantai konvensional level kinerjanya adalah *Damage Control* (DC).

7.2 Saran

Berikut saran penulis dari penyusun Tugas Akhir yang berjudul “Studi Komparatif Perilaku Dinamis Pada Struktur Gedung Beton Bertulang Menggunakan Sistem *Waffle Slab* Terhadap Sistem Pelat Lantai Konvensional” yaitu jika ingin menggunakan *Software Seismostruct* disarankan untuk meneliti gedung maksimal 20 lantai karena itu adalah batasan dari *Software* ini.



DAFTAR PUSTAKA

ATC-40.1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California: Seismic Safety Commission State of California.

Badan Standardisasi Nasional. 2013. SNI 1727:2013 "Beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain, ". Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. 2013. SNI-2847-2019 *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI-1726-2019 *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.

FEMA273.1997. *NEHRP Guidelines and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building*. Virginia. American Society of Civil Engineers.

Youlanda, N. A., & Winaya, A. (2016). Studi Perbandingan Pelat Berusuk Dua Arah (Waffle Slab) dan Pelat Konvensional. *Jurnal Iptek*, 20(1), 25-36.

Paula, P., & Leo, E. (2019). *Kajian Efisiensi Sistem Waffle Slab Terhadap Pelat Konvensional*. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(1), 209-218.

Ginsar, I. M. dan Lumantarna, B. 2007. *Seismic Performance Evaluation of Building with Pushover Analysis*. Jurusan Teknik Sipil. FTSP. Universitas Kristen Petra. Surabaya.

Nawy, E. G.. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Erlangga, Jakarta.

Seismosoft [2020] "*Seismostruct . v2020 Computer Program for Static and Dynamic Nonlinier Analysis of Framed Structures*", Available from <https://seismosoft.com/products/seismostruct/> <<akses 5 mei 2020>>

Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa: Perencanaan Dan Perhitungan Sesuai SNI 1726 dan SNI Terbaru/ oleh Racmat Purwanto-Surabaya: ITS Press, 2005. xxii + 148 hlm: 15,5 x 23,5 cm.

Purwanto, E., & Yanto, D. (2010). *Menentukan Level Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Gempa*. *Media Teknik Sipil*, 10(1), 49-54.

PERHITUNGAN PENULANGAN STRUKTUR

1. Detail Perhitungan Penulangan Pelat Lantai (*Waffle Slab*)

Nilai β_1 untuk beton dengan mutu dibawah 28 MPa, dapat menggunakan nilai 0.85 sedangkan untuk nilai diatas 28 MPa, nilai β_1 harus dihitung lagi dengan persamaan berikut.

Digunakan :

Tulangan pokok & susut menggunakan P10 = 78,5398 mm²

$$\text{Tinggi efektif : } dx = 100 - (20 + \frac{1}{2} \times 10) = 75 \text{ mm}$$

$$dy = 100 - (20 + 10 + \frac{1}{2} \times 10) = 65 \text{ mm}$$

Untuk $f'_c > 28 \text{ Mpa}$

$$\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{f'_c - 28}{7} \times 0,05 \right) \geq 0,65$$

$$= 0,85 - \left(\frac{30 - 28}{7} \times 0,05 \right) \geq 0,65 = 0,83571 \geq 0,65$$

A Analisis Kuat Geser

$$\begin{aligned} Vu &= \frac{1,15 \times Wu \times Ln}{2} \\ &= \frac{1,15 \times 29,408 \times 0,75}{2} \\ &= 12,6822 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vc &= 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 1000 \times (100 - 35) \times 10^{-3} \\ &= 60,5233 \text{ Kn} \end{aligned}$$

Syarat $\phi V_c > V_u$

$$0,75 \times 60,5233 > 12,6822 \text{ kN}$$

$$45,3925 \text{ kN} > 12,6822 \text{ kN} \quad (\text{memenuhi})$$

B Penulangan Arah Sumbu X

$$\rho_{min} = 0,0058$$

$$\begin{aligned} \rho_{maks} &= 0,429 \times \frac{0,85 \times \sqrt{f'_c} \times \beta_1}{f_y} \\ &= 0,429 \times \frac{0,85 \times \sqrt{30} \times 0,83571}{240} \\ &= 0,00596 \end{aligned}$$

a. Tumpuan

$$M_{tx} = -0,84364 \text{ kNm}$$

Digunakan tulangan P10 dengan $f_y = 240 \text{ MPa}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{0,84364 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 75^2} = 0,1666 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,1666}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,0007 \end{aligned}$$

Syarat $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka nilai ρ_{min} yang digunakan adalah 0,0058

$$\begin{aligned} A_{S \text{ perlu}} &= \rho_{min} \times b \times d_x \\ &= 0,0058 \times 1000 \times 75 \\ &= 435 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S \text{ min}} &= \rho_{min} \times b \times h \\ &= 0,0058 \times 1000 \times 100 \end{aligned}$$

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

Dipilih yang terbesar $A_s = 580 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{(0,25 \times \pi \times d^2) \times b}{A_s}$$

$$= \frac{(0,25 \times \pi \times 10^2) \times 1000}{580}$$

$$= 135,413 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3, jarak spasi tulangan utama tidak boleh melebihi persamaan berikut :

$$s_{maks} = 3 \times h = 3 \times 100 = 300 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan P10 – 125 mm

b. Lapangan

$$Mlx = 0,41355 \text{ kNm}$$

Digunakan tulangan P10 dengan $f_y = 240 \text{ MPa}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{0,41355 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 75^2} = 0,0817 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 30}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,0817}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$= 0,0003$$

Syarat $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka nilai ρ_{min} yang digunakan adalah 0,0058

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{min} \times b \times d_x$$

$$= 0,0058 \times 1000 \times 75$$

$$= 435 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho_{min} \times b \times h$$

$$= 0,0058 \times 1000 \times 100$$

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

Dipilih yang terbesar $A_S = 580 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{(0,25 \times \pi \times d^2) \times b}{A_S}$$

$$= \frac{(0,25 \times \pi \times 10^2) \times 1000}{580}$$

$$= 135,413 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3, jarak spasi tulangan utama tidak boleh melebihi persamaan berikut :

$$s_{maks} = 3 \times h = 3 \times 100 = 300 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan P10 – 125 mm

C Penulangan Arah Sumbu Y

a. Tumpuan

$$M_{ty} = -0,84364 \text{ kNm}$$

Digunakan tulangan P10 dengan $f_y = 240 \text{ MPa}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{0,84364 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 65^2} = 0,2219 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 30}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,2219}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$= 0,0009$$

Syarat $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka nilai ρ_{min} yang digunakan adalah 0,0058

$$A_{Sperlu} = \rho_{min} \times b \times d_x$$

$$= 0,0058 \times 1000 \times 65$$

$$= 377 \text{ mm}^2$$

$$A_{Smin} = \rho_{min} \times b \times h$$

$$= 0,0058 \times 1000 \times 100$$

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

Dipilih yang terbesar $A_s = 580 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{(0,25 \times \pi \times d^2) \times b}{A_s}$$

$$= \frac{(0,25 \times \pi \times 10^2) \times 1000}{580}$$

$$= 135,413 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3, jarak spasi tulangan utama tidak boleh melebihi persamaan berikut :

$$s_{maks} = 3 \times h = 3 \times 100 = 300 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan P10 – 125 mm

b. Lapangan

$$Mlx = 0,41355 \text{ kNm}$$

Digunakan tulangan P10 dengan $f_y = 240 \text{ MPa}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{0,41355 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 65^2} = 0,1088 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 30}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,1088}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$= 0,0005$$

Syarat $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka nilai ρ_{min} yang digunakan adalah 0,0058

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{min} \times b \times d_x$$

$$= 0,0058 \times 1000 \times 65$$

$$= 377 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \rho_{min} \times b \times h$$

$$= 0,0058 \times 1000 \times 100$$

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

Dipilih yang terbesar $A_s = 580 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{(0,25 \times \pi \times d^2) \times b}{A_s}$$

$$= \frac{(0,25 \times \pi \times 10^2) \times 1000}{580}$$

$$= 135,413 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3, jarak spasi tulangan utama tidak boleh melebihi persamaan berikut :

$$s_{maks} = 3 \times h = 3 \times 100 = 300 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan P10 – 125 mm

D Tulangan Susut

Digunakan tulangan P10 dengan $f_y = 240 \text{ MPa}$

$$A_{s \min} = \rho_{\min} \times b \times h$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 100$$

$$= 180 \text{ mm}^2$$

$$s_{maks} = \frac{(0,25 \times \pi \times d^2) \times b}{f_y} < 5 \times h$$

$$= \frac{(0,25 \times \pi \times 10^2) \times 1000}{240} < 5 \times 100$$

$$= 327,25 \text{ mm} < 500 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan P10 – 200 mm

E Analisis Tulangan Arah X

a. Daerah Tumpuan dan Lapangan

Tulangan tumpuan dan lapangan yang telah dirancang adalah D10-125.

$$\begin{aligned}
 A_{S \text{ aktual}} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b}{s} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{125} \\
 &= 682,319 \text{ mm}^2 \\
 &= 682,319 \text{ mm}^2 \\
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{682,319 \times 240}{0,85 \times 30 \times 1000} = 6,4218 \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} = \frac{6,4218}{0,83571} = 7,6842 \\
 \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{75-7,6842}{7,6842} \times 0,003 = 0,0263 > 0,005
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pasal 21.2.2.2, dalam SNI 2847:2019 penampang adalah terkendali tarik jika regangan tarik neto dalam baja tarik terjauh, $\epsilon_t \geq 0,005$. Maka faktor reduksi untuk penampang terkendali tarik, $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 682,319 \times 240 \times \left(75 - \frac{6,4218}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 11,756 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 10,5804 \text{ kNm}$$

Syarat :

$$\phi M_n \geq M_{lx} = 10,5804 > 0,84364 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$\phi M_n \geq M_{ly} = 10,5804 > 0,41355 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi})$$

F Analisis Tulangan Arah Y

b. Daerah Tumpuan dan Lapangan

Tulangan tumpuan dan lapangan yang telah dirancang adalah D10-125.

$$\begin{aligned}
 A_{S \text{ aktual}} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b}{s} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{125} \\
 &= 682,319 \text{ mm}^2 \\
 &= 682,319 \text{ mm}^2 \\
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{682,319 \times 240}{0,85 \times 30 \times 1000} = 6,4218 \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} = \frac{6,4218}{0,83571} = 7,6842 \\
 \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{65-7,6842}{7,6842} \times 0,003 = 0,0224 > 0,005
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pasal 21.2.2.2, dalam SNI 2847:2019 penampang adalah terkendali tarik jika regangan tarik neto dalam baja tarik terjauh, $\epsilon_t \geq 0,005$. Maka faktor reduksi untuk penampang terkendali tarik, $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 682,319 \times 240 \times \left(65 - \frac{6,4218}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 10,1184 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 9,10656 \text{ kNm}$$

Syarat :

$$\phi M_n \geq M_{lx} = 9,10656 > 0,84364 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$\phi M_n \geq M_{ly} = 9,10656 > 0,41355 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi})$$

2. Detail Perhitungan Penulangan Pelat Lantai Konvensional

Digunakan :

Tulangan pokok & susut menggunakan P10 = 78,5398 mm²

$$\text{Tinggi efektif : } dx = 150 - \left(20 + \frac{1}{2} \times 10\right) = 125 \text{ mm}$$

$$dy = 150 - \left(20 + 10 + \frac{1}{2} \times 10\right) = 115 \text{ mm}$$

Untuk $f'_c > 28$ Mpa

$$\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{f'_c - 28}{7} \times 0,05\right) \geq 0,65$$

$$= 0,85 - \left(\frac{30 - 28}{7} \times 0,05\right) \geq 0,65$$

$$= 0,83571 \geq 0,65$$

A. Penulangan Arah Sumbu X

$$M_{lx} = -4,27392 \text{ kNm}$$

$$M_{lx} = 7,570944 \text{ kNm}$$

a. Tumpuan

Digunakan tulangan P10 dengan $f_y = 240$ MPa

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{4,27392 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 125^2} = 0,303923 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right)$$

$$= \frac{0,85 \times 30}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,303923}{0,85 \times 30}}\right)$$

$$= 0,001274$$

$$A_{S \text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x$$

$$= 0,001274 \times 1000 \times 125$$

$$= 159.2481 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{S\min} &= 0,002 \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 150 \\
 &= 300 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipilih yang terbesar $A_S = 300 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{(0,25 \times \pi \times d^2) \times b}{A_S} \\
 &= \frac{(0,25 \times \pi \times 10^2) \times 1000}{300} \\
 &= 261,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3 jarak spasi tulangan utama tidak boleh melebihi persamaan berikut :

$$s_{maks} = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan P10 – 150 mm

Pemeriksaan tulangan yang dipakai:

$$\begin{aligned}
 A_{S\text{pakai}} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b}{s} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150} \\
 &= 523,33 \text{ mm}^2 \\
 &= 523,33 \text{ mm}^2 > A_S = 300 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Pemeriksaan kekuatan pelat :

$$a = \frac{A_S \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{523,33 \times 240}{0,85 \times 30 \times 1000} = 4,92549$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{4,92549}{0,83571} = 5,893779$$

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{125-5,893779}{5,893779} \times 0,003 = 0,060626 \geq 0,005$$

Berdasarkan pasal 21.2.2.2, dalam SNI 2847:2019 penampang adalah terkendali tarik jika regangan tarik neto dalam baja tarik terjauh, $\epsilon_t \geq 0,005$. Maka faktor reduksi untuk penampang terkendali tarik, $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 523,33 \times 240 \times \left(125 - \frac{4,92549}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 15,39068 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 15,39068 \geq 4,27392 \text{ kNm}$$

$$13,85161 \text{ kNm} > 4,27392 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi}).$$

b. Lapangan

Digunakan tulangan P10 dengan $f_y = 240 \text{ MPa}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{7,570944 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 125^2} = 0,538378 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,538378}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,002267 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S \text{ perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,002267 \times 1000 \times 125 \\ &= 283,4296 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S \text{ min}} &= 0,002 \times b \times h \\ &= 0,002 \times 1000 \times 150 \\ &= 300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipilih yang terbesar $A_s = 300 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} s &= \frac{(0,25 \times \pi \times d^2) \times b}{A_s} \\ &= \frac{(0,25 \times \pi \times 10^2) \times 1000}{300} \\ &= 261,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3, jarak spasi tulangan utama tidak boleh melebihi persamaan berikut :

$$s_{maks} = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan P10 – 150 mm

Pemeriksaan tulangan yang dipakai:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b}{s} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150} \\ &= 523,33 \text{ mm}^2 \\ &= 523,33 \text{ mm}^2 > A_s = 300 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Pemeriksaan kekuatan pelat :

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{523,33 \times 240}{0,85 \times 30 \times 1000} = 4,92549$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{4,92549}{0,83571} = 5,893779$$

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{125-5,893779}{5,893779} \times 0,003 = 0,060626 \geq 0,005$$

Berdasarkan pasal 21.2.2.2, dalam SNI 2847:2019 penampang adalah terkendali tarik jika regangan tarik neto dalam baja tarik terjauh, $\epsilon_t \geq 0,005$. Maka faktor reduksi untuk penampang terkendali tarik, $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 523,33 \times 240 \times \left(125 - \frac{4,92549}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 15,39068 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 15,39068 \geq 7.570944 \text{ kNm}$$

$$13,85161 \text{ kNm} > 7.570944 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi}).$$

B. Penulangan Arah Sumbu Y

$$M_{lx} = -4,27392 \text{ kNm}$$

$$M_{lx} = 7,570944 \text{ kNm}$$

a. Tumpuan

Digunakan tulangan P10 dengan $f_y = 240 \text{ MPa}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{4,27392 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 115^2} = 0,3591 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,3591}{0,85 \times 30}} \right) \\
 &= 0,0015
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S \text{ perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x \\
 &= 0,0015 \times 1000 \times 115 \\
 &= 173,29 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S \text{ min}} &= 0,002 \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 150 \\
 &= 300 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipilih yang terbesar $A_s = 300 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{(0,25 \times \pi \times d^2) \times b}{A_s} \\
 &= \frac{(0,25 \times \pi \times 10^2) \times 1000}{300} \\
 &= 261,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3, jarak spasi tulangan utama tidak boleh melebihi persamaan berikut :

$$s_{maks} = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan P10 – 150 mm

Pemeriksaan tulangan yang dipakai:

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b}{s} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150} \\
 &= 523,33 \text{ mm}^2 \\
 &= 523,33 \text{ mm}^2 > A_s = 300 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Pemeriksaan kekuatan pelat :

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{523,33 \times 240}{0,85 \times 30 \times 1000} = 4,92549$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{4,92549}{0,83571} = 5,893779$$

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{115-5,893779}{5,893779} \times 0,003 = 0,0555 \geq 0,005$$

Berdasarkan pasal 21.2.2.2, dalam SNI 2847:2019 penampang adalah terkendali tarik jika regangan tarik neto dalam baja tarik terjauh, $\epsilon_t \geq 0,005$. Maka faktor reduksi untuk penampang terkendali tarik, $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 523,33 \times 240 \times \left(115 - \frac{4,92549}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 14,135 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 14,135 \geq 4.27392 \text{ kNm}$$

$$12,721 \text{ kNm} > 4.27392 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi}).$$

b. Lapangan

Digunakan tulangan P10 dengan $f_y = 240 \text{ MPa}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{7.570944 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 115^2} = 0,6361 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 30}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,6361}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$= 0.0027$$

$$A_{S \text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x$$

$$= 0.0027 \times 1000 \times 115$$

$$= 308,69 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ min}} = 0,002 \times b \times h$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 150$$

$$= 300 \text{ mm}^2$$

Dipilih yang terbesar $A_s = 308,69 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{(0,25 \times \pi \times d^2) \times b}{A_s}$$

$$= \frac{(0,25 \times \pi \times 10^2) \times 1000}{308,69}$$

$$= 254,30 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3, jarak spasi tulangan utama tidak boleh melebihi persamaan berikut :

$$s_{maks} = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan P10 – 150 mm

Pemeriksaan tulangan yang dipakai:

$$\begin{aligned} A_{S \text{ pakai}} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b}{s} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150} \\ &= 523,33 \text{ mm}^2 \\ &= 523,33 \text{ mm}^2 > A_S = 308,69 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Pemeriksaan kekuatan pelat :

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{523,33 \times 240}{0,85 \times 30 \times 1000} = 4,92549$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{4,92549}{0,83571} = 5,893779$$

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{115-5,893779}{5,893779} \times 0,003 = 0,0555 \geq 0,005$$

Berdasarkan pasal 21.2.2.2, dalam SNI 2847:2019 penampang adalah terkendali tarik jika regangan tarik neto dalam baja tarik terjauh, $\epsilon_t \geq 0,005$. Maka faktor reduksi untuk penampang terkendali tarik, $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 523,33 \times 240 \times \left(115 - \frac{4,92549}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 14,135 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 14,135 \geq 7.570944 \text{ kNm}$$

$$12,721 \text{ kNm} > 7.570944 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi})$$

c. Tulangan Susut dan Suhu

Digunakan tulangan P10 dengan $f_y = 240 \text{ MPa}$

$$A_{s \text{ min}} = 0,0018 \times b \times h$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 150$$

$$= 270 \text{ mm}^2$$

$$= \frac{(0,25 \times \pi \times d^2) \times b}{f_y}$$

$$= \frac{(0,25 \times \pi \times 10^2) \times 1000}{240}$$

$$= 327,25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.4, jarak spasi tulangan susut dan suhu tidak boleh melebihi persamaan berikut :

$$s_{maks} = 5 \times h = 5 \times 150 = 750 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Digunakan spasi tulangan P10-200 mm.

3. Detail Perhitungan Penulangan Balok

Dalam perhitungan ini balok yang ditinjau adalah balok induk yang mengalami gaya geser dan momen terbesar. Data yang digunakan dalam perancangan tersebut adalah sebagai berikut:

- $f'_c = 30 \text{ MPa}$
- $f_y = 400 \text{ MPa}$ (BJTD) dan 240 (BJTP)
- Diameter tulangan longitudinal = 25 mm

- Diameter Sengkang = 10 mm
- Selimut beton = 40 mm

Data balok induk B6 (300 × 450 mm) lantai 1:

- Tinggi balok (h) = 450 mm
- Lebar balok (b) = 300 mm
- Bentang balok (l) = 6000 mm
- Bentang bersih balok (l_n) = $l - (\frac{1}{2} \text{ lebar kolom kiri} + \frac{1}{2} \text{ lebar kolom kanan})$
 $= 6000 - (250+250)$
 $= 5500 \text{ mm}$
- Tinggi efektif balok (d) = $h - (\text{selimut} + \text{tul.transversal} + \frac{1}{2} \text{ tul.longitudinal})$
 $= 450 - (40 + 10 + \frac{1}{2} \times 25) = 387,5 \text{ mm}$

A Tulangan Tumpuan

a. Tulangan Tumpuan Atas (Tarik) –

- M_u = -21,19 kNm
- $R_n \text{ perlu}$ = $\frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot d^2} = \frac{-21,19 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 387,5^2} = 0,5227 \text{ MPa}$
- $\rho \text{ perlu}$ = $\frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$
 $= \frac{0,85 \times 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,5227}{0,85 \times 30}} \right)$
 $= 0,0013$
- $A_S \text{ perlu}$ = $\rho_{\text{perlu}} \times b_w \times d$
 $= 0,0013 \times 300 \times 387,5$

$$= 151,125 \text{ mm}^2$$

- $A_{S \min} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$

$$= \frac{1,4}{400} \times 300 \times 387,5$$

$$= 406,875 \text{ mm}^2$$

- $A_{S \min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b_w \times d$

$$= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 400} \times 300 \times 387,5$$

$$= 397,955 \text{ mm}^2$$

Digunakan luas tulangan minimal sebagai batas yaitu, $A_{S \min} = 397,955 \text{ mm}^2$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi:

- $\rho_{maks} = 0,0232$, maka :

Menurut SNI 2847:2019 pasal 11.7.2 jarak spasi tulangan utama tidak boleh melebihi persamaan berikut :

- $A_{S \max} = \rho_{maks} \times b_w \times d$

$$= 0,0232 \times 300 \times 387,5$$

$$= 2697 \text{ mm}^2$$

$$A_S \text{ perlu} < A_S \text{ min} < A_S \text{ maks}$$

$151,125 \text{ mm}^2 < 397,955 \text{ mm}^2 < 2697 \text{ mm}^2$, maka digunakan

$$A_S = 397,955 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jumlah tulangan yang digunakan :

- $n = \frac{A_s}{A_s \text{ Tulangan}}$
 $= \frac{397,955}{0,25 \times \pi \times 25^2}$
 $= 0,81112 \approx 2$ buah, maka digunakan 2D25
- $A_s \text{ aktual} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 25^2$
 $= 981.748 \text{ mm}^2 > 397,955 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 25.2, untuk jarak bersih antar tulangan digunakan 25 mm.

- Jarak bersih tulangan $= \frac{300 - (2 \times 40 + 2 \times 10 + 2 \times 25)}{2 - 1}$
 $= 150 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

Cek penampang terkendali tarik :

- $a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{981.748 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} = 51,333$
- $c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{51,333}{0,83571} = 61,293$
- $\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{387,5 - 61,293}{61,293} = 0,016 \geq 0,005$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2.2, untuk $\epsilon_t \geq 0,005$ maka,

$$\phi = 0,9$$

- $M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$
 $= 981.748 \times 400 \times \left(387,5 - \frac{51,333}{2} \right) \times 10^{-6}$
 $= 142,092 \text{ kNm}$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 142,092 \geq 21,19 \text{ kNm}$$

$$127,8828 \text{ kNm} > 21,19 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi})$$

b. Tulangan Tumpuan Bawah (Tekan) +

- $M_u = 0,5 \times 21,19 = 10,595 \text{ kNm}$

- $R_{n \text{ perlu}} = \frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot d^2} = \frac{10,595 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 387,5^2} = 0,2613 \text{ MPa}$

- $\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$
 $= \frac{0,85 \times 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,2613}{0,85 \times 30}} \right)$
 $= 0,0007$

- $A_{S \text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b_w \times d$
 $= 0,0007 \times 300 \times 387,5$
 $= 81,375 \text{ mm}^2$

- $A_{S \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$
 $= \frac{1,4}{400} \times 300 \times 387,5$
 $= 406,875 \text{ mm}^2$

- $A_{S \text{ min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b_w \times d$
 $= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 400} \times 300 \times 387,5$
 $= 397,955 \text{ mm}^2$

Digunakan luas tulangan minimal sebagai batas yaitu, $A_{S \text{ min}} = 397,955 \text{ mm}^2$. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi:

- $\rho_{maks} = 0,0232$, maka :

Menurut SNI 2847:2019 pasal 11.7.2 jarak spasi tulangan utama tidak boleh melebihi persamaan berikut :

- $A_{S maks} = \rho_{maks} \times b_w \times d$
 $= 0,0232 \times 300 \times 387,5$
 $= 2697 \text{ mm}^2$

$$A_{S\text{perlu}} < A_{S\text{min}} < A_{S\text{maks}}$$

$$81,375 \text{ mm}^2 < 397,955 \text{ mm}^2 < 2697 \text{ mm}^2, \text{ maka digunakan } A_S = 397,955 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jumlah tulangan yang digunakan :

- $n = \frac{A_S}{A_{S\text{Tulangan}}}$
 $= \frac{397,955}{0,25 \times \pi \times 25^2}$
 $= 0,81112 \approx 2 \text{ buah, maka digunakan } 2D25$

- $A_{s\text{ aktual}} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 25^2$
 $= 981.748 \text{ mm}^2 > 397,955 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 25.2, untuk jarak bersih antar tulangan digunakan 25 mm.

- Jarak bersih tulangan $= \frac{300 - (2 \times 40 + 2 \times 10 + 2 \times 25)}{2 - 1}$
 $= 150 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$

Cek penampang terkendali tarik :

- $a = \frac{A_S \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{981.748 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} = 51,333$

- $c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{51,333}{0,83571} = 61,293$

- $\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{387,5-61,293}{61,293} = 0,016 \geq 0,005$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2.2 untuk $\epsilon_t \geq 0,005$ maka, ϕ
=0,9

- $M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$
 $= 981.748 \times 400 \times \left(387,5 - \frac{51,333}{2}\right) \times 10^{-6}$
 $= 142,092 \text{ kNm}$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 142,092 \geq 10,595 \text{ kNm}$$

$$127,8828 \text{ kNm} > 10,595 \text{ kNm}$$

(memenuhi)

B Tulangan Lapangan

a. Tulangan Lapangan Bawah (Tarik) –

- $M_u = 25,621 \text{ kNm}$

- $R_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot d^2} = \frac{-21,19 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 387,5^2} = 0.6320 \text{ MPa}$

- $\rho \text{ perlu} = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right)$
 $= \frac{0,85 \times 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,5227}{0,85 \times 30}}\right)$
 $= 0,0016$

- $A_{S \text{ perlu}} = \rho \text{ perlu} \times b_w \times d$
 $= 0,0016 \times 300 \times 387,5$
 $= 185,997 \text{ mm}^2$

- $A_{S \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$
 $= \frac{1,4}{400} \times 300 \times 387,5$

$$= 406,875 \text{ mm}^2$$

- $A_{S \min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times fy} \times b_w \times d$

$$= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 400} \times 300 \times 387,5$$

$$= 397,955 \text{ mm}^2$$

Digunakan luas tulangan minimal sebagai batas yaitu, $A_{S \min} = 397,955 \text{ mm}^2$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi:

- $\rho_{maks} = 0,0232$, maka :

Menurut SNI 2847:2019 pasal 11.7.2 jarak spasi tulangan utama tidak boleh melebihi persamaan berikut :

- $A_{S \ maks} = \rho_{maks} \times b_w \times d$

$$= 0,0232 \times 300 \times 387,5$$

$$= 2697 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \ perlu} < A_{S \ min} < A_{S \ maks}$$

$185,997 \text{ mm}^2 < 397,955 \text{ mm}^2 < 2697 \text{ mm}^2$, maka digunakan $A_S = 397,955 \text{ mm}^2$

Perhitungan jumlah tulangan yang digunakan :

- $n = \frac{A_s}{A_s \text{ Tulangan}}$

$$= \frac{397,955}{0,25 \times \pi \times 25^2}$$

$$= 0,81112 \approx 2 \text{ buah, maka digunakan 2D25}$$

- $A_s \text{ aktual} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 25^2$
 $= 981.748 \text{ mm}^2 > 397,955 \text{ mm}^2$ (memenuhi)

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 25.2, untuk jarak bersih antar tulangan digunakan 25 mm.

- Jarak bersih tulangan $= \frac{300 - (2 \times 40 + 2 \times 10 + 2 \times 25)}{2 - 1}$
 $= 150 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

Cek penampang terkendali tarik :

- $a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{981.748 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} = 51,333$
- $c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{51,333}{0,83571} = 61,293$
- $\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003 = \frac{387,5 - 61,293}{61,293} = 0,016 \geq 0,005$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2.2, untuk $\epsilon_t \geq 0,005$ maka, ϕ
 $= 0,9$

- $M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$
 $= 981.748 \times 400 \times \left(387,5 - \frac{51,333}{2} \right) \times 10^{-6}$
 $= 142,092 \text{ kNm}$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 142,092 \geq 25,621 \text{ kNm}$$

$$127,8828 \text{ kNm} > 25,621 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi}).$$

b. Tulangan Lapangan Atas (Tekan) +

- $M_u = 0,25 \times 25,621 = 6,40525 \text{ kNm}$
- $R_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot d^2} = \frac{6,40525 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 387,5^2} = 0.1580 \text{ MPa}$
- $\rho \text{ perlu} = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$
 $= \frac{0,85 \times 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0.2613}{0,85 \times 30}} \right)$
 $= 0,0004$
- $A_{S \text{ perlu}} = \rho \text{ perlu} \times b_w \times d$
 $= 0,0004 \times 300 \times 387,5$
 $= 46,059 \text{ mm}^2$
- $A_{S \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$
 $= \frac{1,4}{400} \times 300 \times 387,5$
 $= 406,875 \text{ mm}^2$
- $A_{S \text{ min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b_w \times d$
 $= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 400} \times 300 \times 387,5$
 $= 397,955 \text{ mm}^2$

Digunakan luas tulangan minimal sebagai batas yaitu, $A_{S \text{ min}} = 397,955 \text{ mm}^2$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi:

- $\rho_{maks} = 0,0232$, maka :

Menurut SNI 2847:2019 pasal 11.7.2, jarak spasi tulangan utama tidak boleh melebihi persamaan berikut :

- $$A_{S maks} = \rho_{maks} \times b_w \times d$$

$$= 0,0232 \times 300 \times 387,5$$

$$= 2697 \text{ mm}^2$$

$$A_{S perlu} < A_{S min} < A_{S maks}$$

$$46,059 \text{ mm}^2 < 397,955 \text{ mm}^2 < 2697 \text{ mm}^2, \text{ maka digunakan } A_S = 397,955 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jumlah tulangan yang digunakan :

- $$n = \frac{A_S}{A_{S Tulangan}}$$

$$= \frac{397,955}{0,25 \times \pi \times 25^2}$$

$$= 0,81112 \approx 2 \text{ buah, maka digunakan } 2D25$$

- $$A_{S aktual} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 25^2$$

$$= 981.748 \text{ mm}^2 > 397,955 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 25.2, untuk jarak bersih antar tulangan digunakan 25 mm.

- $$\text{Jarak bersih tulangan} = \frac{300 - (2 \times 40 + 2 \times 10 + 2 \times 25)}{2 - 1}$$

$$= 150 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Cek penampang terkendali tarik :

- $$a = \frac{A_S \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{981.748 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} = 51,333$$

- $$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{51,333}{0,83571} = 61,293$$

- $\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{387,5-61,293}{61,293} = 0,016 \geq 0,005$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2.2, untuk $\epsilon_t \geq 0,005$ maka, $\phi = 0,9$

- $M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$
 $= 981.748 \times 400 \times \left(387,5 - \frac{51,333}{2}\right) \times 10^{-6}$
 $= 142,092 \text{ kNm}$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 142,092 \geq 6,40525 \text{ kNm}$$

$$127,8828 \text{ kNm} > 6,40525 \text{ kNm} \quad (\text{memenuhi})$$

C. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.6.5.2, momen- momen ujung M_{pr} pada tegangan tarik baja sebesar $1,25f_y$. Momen kapasitas negatif, M_{pr}^- dan momen kapasitas positif, M_{pr}^+ ditinjau dari tumpuan dengan tulangan 2D25.

- $a_{pr} = \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_w}$
 $= \frac{981.748 \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300}$
 $= 64,1665 \text{ mm}$

- $M_{pr} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2}\right) \times 10^{-6}$
 $= 981.748 \times 1,25 \times 400 \times \left(387,5 - \frac{64,1665}{2}\right) \times 10^{-6}$
 $= 174,318 \text{ kNm}$

a. Perhitungan Gaya Geser Akibat Gravitasi

Perhitungan gaya geser akibat gravitasi (V_g) didapat dari *Output Seismostruct* dan didapatkan hasil $V_g = 40,54$ kN Perhitungan gaya geser akibat gempa dan gravitasi:

- $L_n = 6 - (0,5 \times 0,5) - (0,5 \times 0,5) = 5,5$ m

- $$V_{e1} = \frac{2 \times M_{pr}}{l_n} + V_g$$

$$= \frac{2 \times 174,318}{5,5} + 40,54$$

$$= 103,928 \text{ kN}$$

- $$V_{e2} = \frac{2 \times M_{pr}}{l_n} - V_g$$

$$= \frac{2 \times 174,318}{5,5} - 40,54$$

$$= 22,848 \text{ kN}$$

Gaya geser perlu yang digunakan untuk daerah tumpuan yaitu, V_u tumpuan = 103,228 kN

Untuk perhitungan tulangan geser lapangan, maka dihitung tulangan geser $2 \times h$ dari muka kolom = $2 \times 0,5 = 1$ m. Hasil dari perhitungan *Seismostruct* untuk $V_e = V_u$ lapangan = 24,17 kN

- Gaya geser akibat gempa (V_e)
$$= \frac{2 \times M_{pr}}{l_n}$$

$$= \frac{2 \times 174,318}{5,5}$$

$$= 63,388 \text{ kN}$$

b. Perhitungan Kebutuhan Sengkang Balok

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2, V_c dapat diasumsikan sama dengan nol bilamana gaya geser gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang bentang gaya tekan aksial terfaktor, P_u , termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$.

1) Senggang Daerah Tumpuan

Diketahui:

- $V_{u\text{ pakai}} = 103,928 \text{ kN}$
- $V_e = 63,388 \text{ kN}$
- $P_u = 0$

Syarat:

- $63,388 > 0,5 \cdot V_u$
- $63,388 > 0,5 \cdot 103,928 \text{ kN}$
- $63,388 > 51,964 \text{ kN}$ (memenuhi)
- $V_c = 0,17 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$
 $= 0,17 \times \sqrt{30} \times 300 \times 387,5 \times 10^{-3}$
 $= 108,2437 \text{ kN}$
- $V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$
 $= \frac{103,928}{0,75} - 108,2437$
 $= 30,327 \text{ kN}$
- $V_{s\text{ maks}} = 0,66 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$
 $= 0,66 \times \sqrt{30} \times 300 \times 387,5 \times 10^{-3}$
 $= 420,2401 \text{ kN}$

$$V_s < V_{s\text{ maks}}$$

$$30,327 \text{ kN} < 420,2401 \text{ kN} \quad (\text{memenuhi})$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.7.1.5, untuk senggang di daerah tumpuan yang kemungkinan mengalami sendi plastis atau 2 kali tinggi balok (h), digunakan senggang tertutup. Senggang tertutup pertama harus

ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.

Dicoba menggunakan sengkang dua kaki diameter P10 mm

$$(A_v = n \times A_b = 2.78,5398 = 157,0796 \text{ mm}^2).$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad s &= \frac{A_v \times f_{ys} \times d}{V_s} \\ &= \frac{157,0796 \times 240 \times 387,5}{30,327 \times 10^3} \\ &= 481,696 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.4, untuk spasi sengkang

tidak boleh melebihi:

$$\begin{aligned} \bullet \quad s &= d/4 = 387,5/4 = 96,875 \text{ mm} \\ \bullet \quad s &= 6 \times d_b \text{ longitudinal} = 6 \times 25 = 150 \text{ mm} \\ \bullet \quad s &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang 2P10-75

2) Sengkang Daerah Lapangan

Kontribusi beton dalam menahan gaya geser diperhitungkan pada sengkang daerah lapangan dikarenakan diluar dari daerah sendi plastis.

Diketahui:

$$\begin{aligned} \bullet \quad V_{u \text{ pakai}} &= 24,17 \text{ kN} \\ \bullet \quad V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 300 \times 387,5 \times 10^{-3} \\ &= 108,2437 \text{ kN} \\ \bullet \quad V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{24,17}{0,75} - 108,2437 \\ &= -76,017 \text{ kN} \\ \bullet \quad V_{s \text{ maks}} &= 0,66 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d \end{aligned}$$

$$= 0,66 \times \sqrt{30} \times 300 \times 387,5 \times 10^{-3}$$

$$= 420,2401 \text{ kN}$$

$$V_s < V_{s \text{ maks}}$$

$$-76,017 \text{ kN} < 420,2401 \text{ kN} \quad (\text{memenuhi})$$

Dicoba menggunakan sengkang dua kaki diameter P10 mm

$$(A_v = n \times A_b = 2.78,5398 = 157,0796 \text{ mm}^2).$$

$$\bullet \quad s = \frac{A_v \times f_{ys} \times d}{V_s}$$

$$= \frac{157,0796 \times 240 \times 387,5}{-76,017 \times 10^3}$$

$$= -192,173 \text{ mm}$$

Pada SNI 2487:2019 pasal 25.7.1.5, memberikan syarat jarak tulangan transversal pada daerah luar sendi plastis

$$\bullet \quad s = d/2 = 387,5/2 = 193,75 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan sengkang 2P10 – 150

4. Detail Perhitungan Penulangan Kolom

Penulangan pada kolom ditinjau pada kolom K 500x500 (C15) di lantai 1 menggunakan bantuan *Software Seismostruct*, hasil pemodelan kolom sebagai berikut :

Direncanakan menggunakan :

- $b = 500 \text{ mm}$
- $h = 500 \text{ mm}$
- Selimut beton = 40 mm
- Diameter tulangan = 25 mm
- Diameter sengkang = 12 mm

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.6 dan pasal , Kolom untuk komponen struktur rangka momen khusus harus memenuhi syarat-syarat berikut :

- $P_u = 1321.884 \text{ kN}$

$$P_u \geq \frac{A_g \times f'_c}{10}$$

$$1321.884 \geq \frac{A_g \times f'_c}{10}$$

$$1321.884 \geq \frac{500 \times 500 \times 30 \times 10^{-3}}{10}$$

$$1321.884 \text{ kN} \geq 780 \text{ kN} \quad (\text{memenuhi})$$

- Dimensi penampang terpendek, tidak boleh lebih pendek dari 300 mm.

$$500 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

$$\frac{b}{h} > 0,4$$

$$\frac{500}{500} = 1 > 0,4 \quad (\text{memenuhi})$$

A. Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2, kolom harus memenuhi syarat $\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb}$. Diketahui data kolom sebagai berikut :

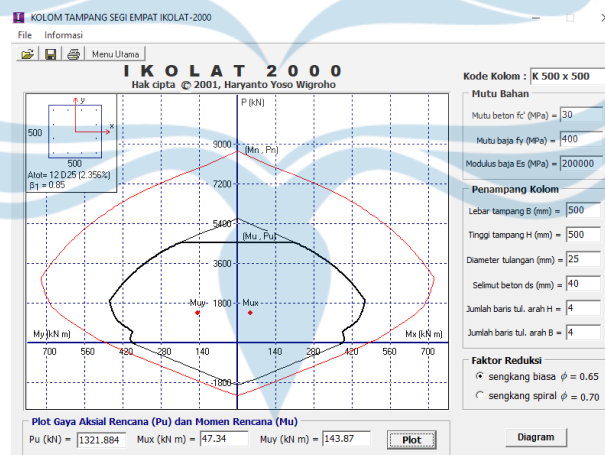
- $P_u = 1321.884 \text{ kN}$
- $M_{ux} = 47,34 \text{ kNm}$
- $M_{uy} = 143,87 \text{ kNm}$
- $V_u = 55,86 \text{ kN}$

- Mu ekivalen $= M_{uy} + M_{ux} \times \frac{b}{h} \times \left(\frac{1+\beta}{\beta}\right)$
 $= 143,87 + 47,34 \times \frac{500}{500} \times \left(\frac{1+0,85}{0,85}\right)$
 $= 246,904 \text{ kNm}$

- Nod $= \frac{P_u}{f'c \times b \times h}$
 $= \frac{1321.884 \times 10^3}{30 \times 500 \times 500}$
 $= 0,17625$

- Mod $= \frac{M_u}{f'c \times b \times h}$
 $= \frac{246,904 \times 10^3}{30 \times 500 \times 500}$
 $= 0,03292$

Menentukan A_s Total :



Gambar 5.10 Diagram Interaksi Kolom

- $A_{s \text{ total}} = \rho \cdot A_g$
 $= 0,02356 \cdot (500 \cdot 500)$
 $= 5890 \text{ mm}^2$

- $A_{s \text{ tulangan}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2$$

$$= 490,8738521 \text{ mm}^2$$

- $n = \frac{A_{stotal}}{A_{stulangan}}$

$$= \frac{5890}{490,873852}$$

$$= 11,999009 \approx 12$$

Digunakan tulangan 12D25

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 25.2, besar spasi antara tulangan sejajar dalam suatu lapis harus sebesar db, tetapi tidak kurang dari 25 mm.

Cek jarak bersih :

- $X = \frac{500 - ((40 \times 2) + (12 \times 2) + (\frac{12}{4} + 1) \times 25)}{(\frac{12}{4})}$
- $= 98,66667 \text{ mm} > db = 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

- $d = h - d$
- $= (500 - (40 + 12 + \frac{1}{2} \times 25))$
- $= 435,5 \text{ mm}$

B. Tulangan Transversal

a. Gaya Geser Akibat Gempa

Menurut ketentuan SNI 2847-2019 pasal 22.5.6.1, $V_c = 0$, $P_u < A_g \cdot f_c \cdot 10$.

- $P_u = 1321.884 \text{ kN}$
- $A_g \cdot f_c \cdot 10 = 0,1 \times 500 \times 500 \times 30 \times 10^{-3}$
 $= 750 \text{ kN}$
- $P_u = 1321.884 \text{ kN} > 750 \text{ kN}$

Maka nilai V_c dihitung :

- $V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$
 $= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 500 \times 435,5 \times 10^{-3}$
 $= 198,778 \text{ kN}$

Cek kebutuhan tulangan geser tambahan

- $\frac{V_u}{\phi} = \frac{55,86}{0,75} = 74,48 \text{ kN}$
- $\frac{1}{2} \times V_c = \frac{1}{2} \times 198,778 = 99,389 \text{ kN}$
- $\frac{V_u}{\phi} < \frac{1}{2} \times V_c$, tidak perlu tulangan geser tambahan.

b. Tinjauan Terhadap Geser

Menurut SNI 2847:2019 pasal 22.5.6.1, untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial, V_c harus dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

- $V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{1321.884}{14 \times (500 \times 500)}\right) \times \sqrt{30} \times 500 \times 435,5$$

$$= 202,830 \text{ kN}$$

Kuat geser sengkang :

$$\begin{aligned} \bullet \quad V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{55,86}{0,75} - 202,830 \\ &= -128,35 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c > V_u$$

$$0,9 \times 202,830 \text{ kN} > 55,86 \text{ kN}$$

$$182,547 \text{ kN} > 55,86 \text{ kN}$$

(memenuhi)

$$\begin{aligned} \bullet \quad S_{maks} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{435,5}{2} \\ &= 217,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan 2P12 – 150 mm.