

## **BAB II**

### **PERANCANGAN STRUKTUR ATAS**

#### **2.1 Pendahuluan**

Pada perencanaan struktur atas terdapat beberapa elemen yang terdiri dari atap, tangga, pelat lantai, balok dan kolom. Struktur atas merupakan bagian struktur yang berada diatas tanah. Pada perencanaan struktur atas ini menggunakan struktur beton bertulang pada elemen kolom, balok dan pelat lantai. Sedangkan untuk atap menggunakan struktur baja.

Tahap pertama dalam perencanaan struktur atas dimulai dengan merencanakan struktur atap dengan bantuan program SAP2000 dengan memasukan beban mati, beban hidup dan beban angin sesuai dengan aturan yang berlaku. Selanjutnya, perencanaan balok dan kolom dilakukan dengan menggunakan program ETABS. Dalam perencanaan di ETABS, penentuan ukuran balok, kolom, dan pelat sesuai dengan persyaratan desain yang berlaku. Program ini akan membantu dalam melakukan analisis struktur yang lebih rinci dan memastikan kekuatan dan kestabilan struktur. Selama desain menggunakan ETABS, Anda juga akan memasukkan data desain spektrum sesuai dengan daerah masing-masing. Data ini mencakup faktor-faktor seperti gempa, angin, atau beban lain yang relevan dengan lokasi proyek. Dengan memasukkan data ini, ETABS akan menghasilkan analisis yang lebih akurat dan membantu dalam perencanaan struktur yang tahan lama dan aman.

Perencanaan struktur atas ini merupakan proses yang kompleks dan memerlukan pengetahuan mendalam tentang prinsip struktur, peraturan desain, dan penggunaan perangkat lunak khusus seperti SAP2000 dan ETABS. Dalam perencanaan struktur atas, sebaiknya melibatkan seorang insinyur struktur yang berpengalaman untuk memastikan desain yang tepat dan aman.

Proses perencanaan struktur atas ini mengacu pada :

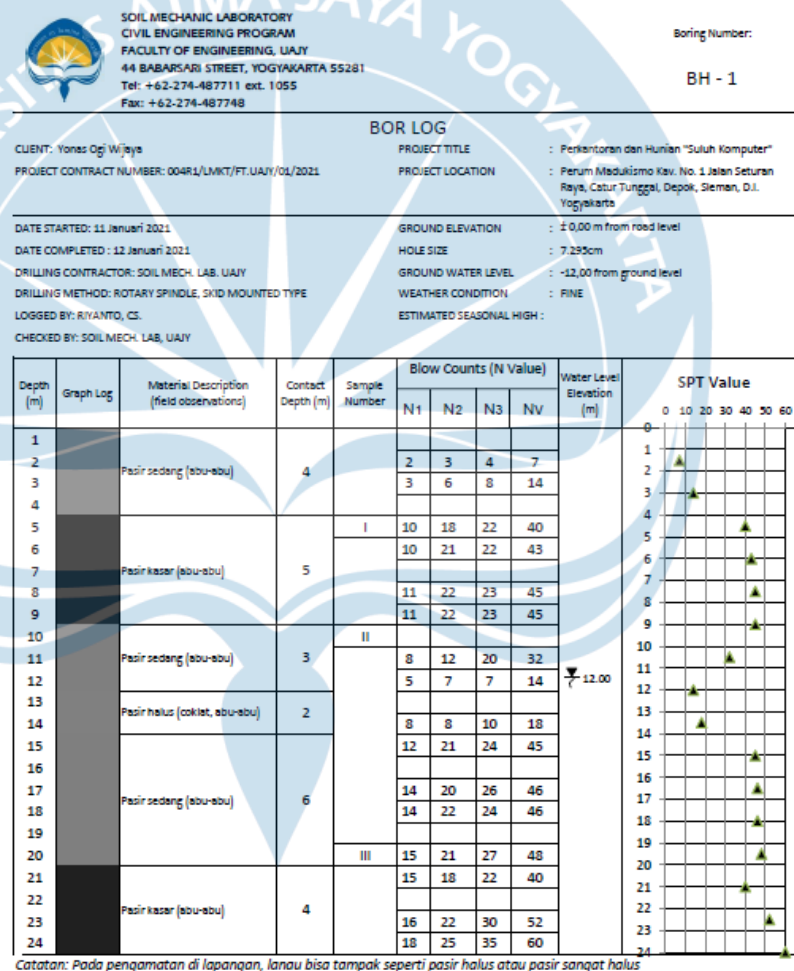
- SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan
- SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Gedung Baja Struktural

- SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain
- SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung
- SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik
- SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain



## 2.2 Intepretasi Data Tanah dan Penentuan Kelas Situs

Klasifikasi tanah adalah cara mengumpulkan dan mengelompokkan tanah berdasarkan kesamaan dan kemiripan sifat dan cirinya. Intrepretasi tanah sangat berpengaruh pada perencanaan struktur bangunan. Uji tanah yang sering dilakukan adalah uji SPT (*Standard Penetration Test*) dan sondir atau CPT (*Cone Penetrometer Test*). Pada pengujian SPT akan didapatkan hasil tes berupa *Bore Log* yang nantinya dari data yang ada pada *Bore Log* akan diolah kembali untuk mendapatkan klasifikasi kelas situs. Data *Bore Log* dapat dilihat seperti pada gambar berikut.



**Gambar 2. 1 Bore Log**

Menentukan klasifikasi situs tanah.

Klasifikasi situs tanah menurut SNI 8460:2019 dapat dicari dengan menentukan nilai rata rata kecepatan gelombang geser, nilai rata rata tahanan penetrasi standar lapangan rata rata dan nilai rata rata kuat geser niralir. Pada merancang bangunan Gedung Galeri Pusat Pelatihan Gerabah dan Keramik menggunakan nilai tahanan penetrasi

**Tabel 2. 1** Data Klasifikasi Situs Tanah

| <b>Kedalaman</b> | <b>T(m)</b> | <b>Nv</b> | <b><math>N_{SPTch}</math></b> |
|------------------|-------------|-----------|-------------------------------|
| 0-2              | 2           | 7         | 0.285714                      |
| 2-3              | 1           | 14        | 0.071429                      |
| 3-5              | 2           | 40        | 0.05                          |
| 5-6              | 1           | 43        | 0.023256                      |
| 6-8              | 2           | 45        | 0.044444                      |
| 8-9              | 1           | 45        | 0.022222                      |
| 9-11             | 2           | 32        | 0.0625                        |
| 11-12            | 1           | 14        | 0.071429                      |
| 12-14            | 2           | 18        | 0.111111                      |
| 14-15            | 1           | 45        | 0.022222                      |
| 15-17            | 2           | 46        | 0.043478                      |
| 17-18            | 1           | 46        | 0.021739                      |
| 18-20            | 2           | 48        | 0.041667                      |
| 20-21            | 1           | 40        | 0.025                         |
| 21-23            | 2           | 52        | 0.038462                      |
| 23-24            | 1           | 60        | 0.016667                      |
| Jumlah           | 24          |           | 0.95134                       |
| Rata-rata        |             |           | 25.22759                      |

Dari perhitungan pada Tabel diatas maka diperoleh:

- Nilai  $N_{SPTch} = 25,2276$

**Tabel 2. 2** Klasifikasi Situs

| Kelas Situs |   | Vs (m/s)  | $N_{SPT}$ atau $N_{SPTch}$ | Su (kPa)      |
|-------------|---|---|----------------------------|---------------|
| SA          | Batuan Keras  | > 1500  | N/A                        | N/A           |
| SB          | Batuan  | 750 sampai 1500   | N/A                        | N/A           |
| SC          | Tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak   | 350 sampai 750  | N/A                        | > 100         |
| SD          | Tanah sedang  | 175 sampai 350  | 15 sampai 50               | 50 sampai 100 |
| SE          | Tanah lunak   | < 175   | < 15                       | < 50          |
|             |   | Atau setiap profil yanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:<br>1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ ,<br>2. Kadar air, $w > 40\%$ ,<br>3. Kuat geser niralir, $Su^* < 25$ kPa   |                            |               |
| SF          | Tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>• Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> <li>• Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan indeks plastisitas, <math>PI &lt; 75</math>)</li> <li>• Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math> m dengan <math>Su^* &lt; 50</math> kPa</li> </ul> |                            |               |

**Keterangan**

$N_{SPT}$  = nilai rata rata tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata;

$N_{SPTch}$  = nilai rata rata tahanan penetrasi standar untuk lapisan tanah non kohesif

Sumber : Tabel 5 (SNI 1726:2019)

**Deskripsi Tanah Menurut SPT**

Berdasarkan tabel 2.1 diperoleh nilai  $N_{SPTch}$  sebesar 25,2276 yang nantinya akan digunakan untuk menentukan klasifikasi situs. Menurut tabel 2.2 nilai  $N_{SPTch}$  sebesar 25,2276 termasuk dalam kelas situs SD - Tanah Sedang.

### Kategori Risiko Bangunan Gedung Untuk Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019 tentang Kategori Risiko Bangunan, seperti pada Tabel 2.3, diketahui bahwa Bangunan Galeri Pameran Pelatihan Gerabah di Klaten tergolong kedalam kategori III (jenis pemanfaatan sebagai Gedung pertemuan).

**Tabel 2. 3** Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya Untuk Beban Gempa

| Jenis pemanfaatan   | Kategori risiko |
|---|-----------------|
| Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>   | I               |
| Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>  | II              |
| Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul><br>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: | III             |

|   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p> |  |
|---|--|

Sumber : Tabel 3 (SNI 1726 : 2019)

#### Kategori Desain Seismik (KDS)

Berdasarkan Peta Gempa dan Respons Spektra tahun 2019 yang dikeluarkan oleh PUSGEN-PUSKIM PUPR pada wilayah Klaten, Jawa Tengah dengan kelas situs SD-tanah sedang didapatkan nilai  $S_s$  sebesar 1.11 g dan  $S_1$  sebesar 0.5 g. Kemudian nilai tersebut digunakan untuk menentukan perhitungan  $F_a$  dan  $F_v$  sesuai dengan tabel 6 dan tabel 7 SNI 1726:2019.

Menentukan  $F_a$  dan  $F_v$

**Tabel 2. 4** Koefisien situs,  $F_a$

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

Sumber : Tabel 6 (SNI 1726:2019)

Berdasarkan tabel 2.4, didapatkan nilai  $F_a$  sebesar 1,06. Penentuan nilai  $F_a$  tersebut didapatkan dengan metode interpolasi antara  $S_s=1,0$  dan  $S_s=1,25$  dengan kategori SD.

**Tabel 2. 5** Koefisien situs, Fv

| Kelas Situs | Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE <sub>R</sub> ) terpetakan pada periode pendek, T = 1 detik, S <sub>1</sub> |                      |                      |                      |                      |                      |
|-------------|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|             | S <sub>1</sub> ≤ 0,21  | S <sub>1</sub> = 0,2 | S <sub>1</sub> = 0,3 | S <sub>1</sub> = 0,4 | S <sub>1</sub> = 0,5 | S <sub>1</sub> ≥ 0,6 |
| SA          | 0,8  | 0,8                  | 0,8                  | 0,8                  | 0,8                  | 0,8                  |
| SB          | 0,8  | 0,8                  | 0,9                  | 0,8                  | 0,9                  | 0,8                  |
| SC          | 1,5  | 1,5                  | 1,5                  | 1,5                  | 1,5                  | 1,4                  |
| SD          | 2,4  | 2,2                  | 2,0                  | 1,9                  | 1,8                  | 1,7                  |
| SE          | 4,2  | 3,3                  | 2,8                  | 2,4                  | 2,2                  | 2,0                  |
| SF          | SS <sup>(a)</sup>  |                      |                      |                      |                      |                      |

Sumber : Tabel 7 (SNI 1726:2019)

Berdasarkan tabel 2.5 didapatkan nilai koefisien situs Fv sebesar 1,8.

Selanjutnya nilai koefisien situs Fa dan Fv digunakan untuk menghitung nilai S<sub>MS</sub> dan S<sub>M1</sub>. Berikut merupakan perhitungan S<sub>MS</sub> dan S<sub>M1</sub>.

$$\begin{aligned}
 S_{MS} &= F_a \times S_s \\
 &= 1,06 \times 1,11 \\
 &= 1,1766 \text{ (g)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{M1} &= F_v \times S_1 \\
 &= 1,8 \times 0,5 \\
 &= 0,9 \text{ (g)}
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkannya nilai S<sub>MS</sub> dan S<sub>M1</sub>, selanjutnya nilai tersebut digunakan untuk menentukan spektrum respon desain.

$$\begin{aligned}
 S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\
 &= \frac{2}{3} \times 1,1766 \\
 &= 0,7844 \text{ (g)}
 \end{aligned}$$

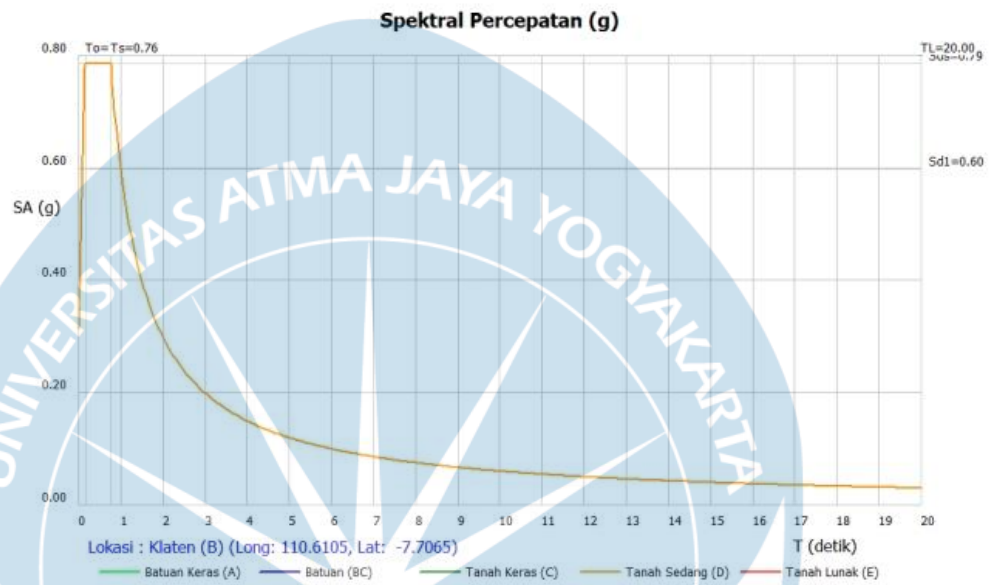
$$\begin{aligned}
 S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,9 \\
 &= 0,6 \text{ (g)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= 0,2 \times \frac{0,6}{0,7844} \\
 &= 0,1530 \text{ s}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{Sd1}{Sds} \\
 &= \frac{0,6}{0,7844} \\
 &= 0,7649 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dari nilai-nilai di atas, didapatkan hasil spektral desain seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Grafik Spektrum Respon Desain

Tabel 2. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

Sumber : Tabel 8 (SNI 1726:2019)

Berdasarkan  $S_{DS}$

Dari perhitungan nilai  $S_{DS}$  didapatkan nilai  $S_{DS}$  sebesar 0,7844 (g) dan ditentukan kategori risiko melalui Tabel 2.6. Dari pembacaan Tabel 2.6 dengan nilai  $S_{DS}$  dan kategori risiko III didapatkan Kategori Desain Seismik (KDS) struktur bangunan Galeri Pameran Pelatihan Gerabah di Klaten adalah kategori D.

**Tabel 2. 7** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

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

Sumber : Tabel 9 (SNI 1726:2019)

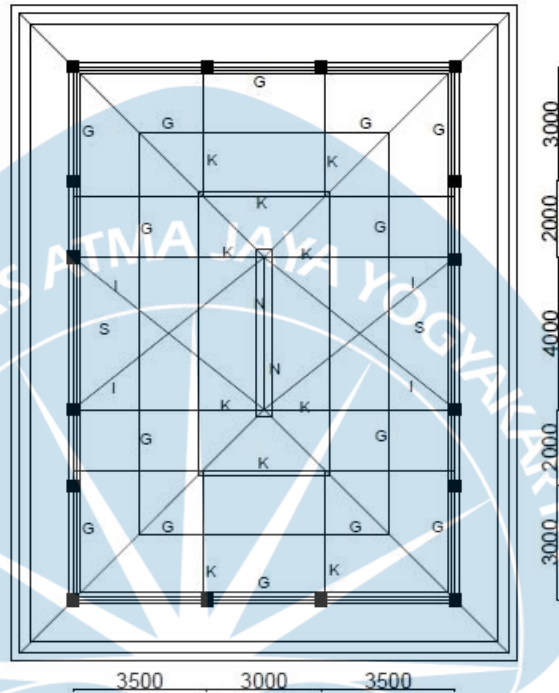
Berdasarkan  $S_{D1}$

Dari perhitungan nilai  $S_{D1}$  didapatkan nilai  $S_{D1}$  sebesar 0,50 (g) dan ditentukan kategori risiko melalui Tabel 2.7. Dari pembacaan Tabel 2.7 dengan nilai  $S_{DS}$  dan kategori risiko III didapatkan Kategori Desain Seismik (KDS) struktur bangunan Galeri Pameran Pelatihan Gerabah di Klaten adalah kategori D.

## 2.3 Perencanaan Atap

### 2.3.1 Gording dan Pembebanan Pada Kuda-Kuda Baja

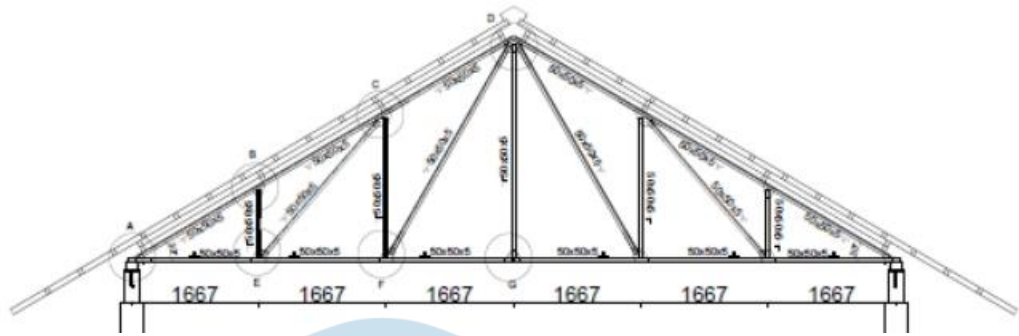
Denah rangka atap bangunan galeri pameran yang memiliki dua lantai dapat dilihat pada berikut.



**Gambar 2. 3** Denah Rangka Atap

Berdasarkan Gambar 2.5 diatas, kuda-kuda bangunan galeri pameran tersebut di desain dengan menggunakan baja profil *double* siku dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Jarak antar gording = 1,66 m
- $\theta$  =  $30^\circ$
- Jarak antar kuda-kuda = 4 m
- Massa atap genteng = 40 Kg
- Massa plafond = 18 Kg
- Berat gording = 1,404 kN/m
- Fy baja = 240 MPa
- Tiupan angin =  $0,25 \text{ KN/m}^2$
- Profil gording = C 150x50x20 (t = 2,5 mm)



**Gambar 2. 4** Kuda-kuda baja profil *double siku*

Beban Gording

– Berat Sendiri (Asumsi) = 0,093 kN/m

– Berat Atap =  $\frac{\text{Jarak antar Gording}}{\cos \phi} \times \text{berat atap}$

$$= \frac{1,66}{\cos 30^\circ} \times 0,4$$

$$= 0,863 \text{ kN/m}$$

– Berat Plafond = Jarak antar gording x Berat plafond

$$= 1,66 \times 0,18$$

$$= 0,4488 \text{ kN/m}$$

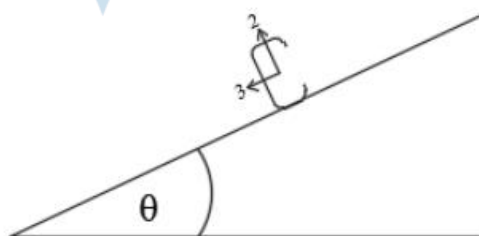
⇒ Dead Load (D) rencana gording

$$q = 1,404 \text{ kN/m}$$

⇒ Live Load (L)

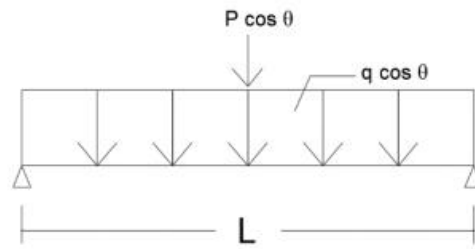
$$P = 1 \text{ kN/m}$$

Gording (Rencana Momen Gording)



**Gambar 2. 5** Arah Momen Gording

- Beban Gording Arah Sumbu 2



**Gambar 2. 6** Pembebanan Gording Arah Sumbu 2

$$\begin{aligned} M_{3,D} &= \frac{1}{8} x q x \cos q x L^2 \\ &= \frac{1}{8} x (1,404) x \cos 30 x 4^2 \\ &= 2,432 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3,L} &= \frac{1}{4} x P x \cos q x L \\ &= \frac{1}{4} x 1 x \cos 30 x 4 \\ &= 0,866 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow M_{3,U} = 1,4 M_{3,D}$$

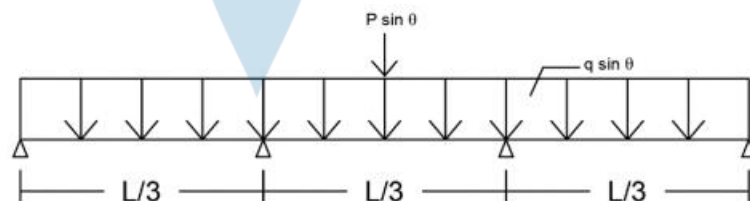
$$M_{3,U} = 1,2 M_{3,D} + 1,6 M_{3,L}$$

$$\Rightarrow M_{3,U} = 1,4 (2,432) = 3,405 \text{ kNm}$$

$$M_{3,U} = 1,2 (2,432) + 1,6 (0,866) = 4,304 \text{ kNm}$$

Dari perhitungan  $M_{3,U}$  diatas, dipilih nilai terbesar yaitu 4,304 KNm.

- Beban Gording Arah Sumbu 3



**Gambar 2. 7** Pembebanan Gording Arah Sumbu 3

$$\begin{aligned} M_{2,D} &= \frac{1}{8} x q x \sin q x \left(\frac{L}{3}\right)^2 \\ &= \frac{1}{8} x 1,404 x \sin 30 x \left(\frac{4}{3}\right)^2 \\ &= 0,107 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{2,L} &= \frac{1}{4} \times P \times \sin q \times \left(\frac{L}{3}\right) \\
 &= \frac{1}{4} \times 1 \times \sin 30 \times \left(\frac{4}{3}\right) \\
 &= 0,167 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow M_{2,U} = 1,4 M_{2,D}$$

$$M_{2,U} = 1,2 M_{2,D} + 1,6 M_{2,L}$$

$$\Rightarrow M_{2,U} = 1,4 (0,107) = 0,149 \text{ KNm}$$

$$M_{2,U} = 1,2 (0,107) + 1,6 (0,167) = 0,395 \text{ KNm}$$

Dari perhitungan  $M_{2,U}$  diatas, dipilih nilai terbesar yaitu 0,395 kNm.

Gording (Cek Tegangan Pada Profil C)

Rumus:

$$f_b = \frac{M_{3,u}}{f W_3} + \frac{M_{2,u}}{f W_2} \leq F_y, \text{ dengan nilai } \phi=0,9$$

$\Rightarrow$  Dipilih Profil C 150x50x20, tebal 2,5 mm.

$$I_3 = I_x = 710000 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = I_y = 170000 \text{ mm}^4$$

$$W_3 = Z_x = 14300 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = Z_y = 5400 \text{ mm}^3$$

$$\Rightarrow f_b = \frac{4,304}{0,9 \times 14300} + \frac{0,395}{0,9 \times 5400} = 41,57 \text{ MPa} \leq 240 \text{ Mpa}$$

$\Rightarrow$  Tegangan profil C 150x50x20 (t = 2,5 mm) **Aman**

Gording (Cek Defleksi Gording)

$$\begin{aligned}
 \delta_2 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \cos f L^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos f L^3}{EI} \\
 &= \frac{5}{384} \times \frac{1,404 \cos 30 4000^4}{200000 \times 710000} + \frac{1}{48} \times \frac{1 \cos 30 4000^3}{200000 \times 710000} \\
 &= 10,813 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_3 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \sin f}{EI} \times \left(\frac{L}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin f}{EI} \times \left(\frac{L}{3}\right)^3 \\
 &= \frac{5}{384} \times \frac{1,404 \sin 30}{200000 \times 170000} \times \left(\frac{4000}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{1 \sin 30}{200000 \times 170000} \times \left(\frac{4000}{3}\right)^3 \\
 &= 0,9360 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta &= \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \leq \frac{1}{240} L \\ &= \sqrt{(0,936)^2 + (10,813)^2} \leq \frac{1}{240} (4000) \\ &= 10,853 \text{ mm} \leq 16,667 \text{ Aman}\end{aligned}$$

Sagrod

Jumlah gording (n) dibawah nok = 4 buah

- Rencana Sagrod

$$\begin{aligned}F_{t,D} &= n \left( \frac{L}{3} \times q \times \sin q \right) \\ &= 4 \left( \frac{4}{3} \times (1,404) \times \sin 30 \right) \\ &= 2,140 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{t,L} &= \frac{n}{2} \times P \times \sin q \\ &= \frac{4}{2} \times 1 \times \sin 30 \\ &= 1 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned}F_{t,U} &= 1,4 F_{t,D} \\ &= 1,4 (2,140) \\ &= 2,996 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{t,U} &= 1,2 F_{t,D} + 1,6 F_{t,L} \\ &= 1,2(2,140) + 1,6(1) \\ &= 4,168 \text{ kN}\end{aligned}$$

Dari kombinasi pembebanan dipilih nilai  $F_{t,U}$  terbesar yaitu 4,168 KN

- Luas Batang Sagrod yang Dibutuhkan

$$A_{sr} = \frac{F_{t,U} \cdot 10^3}{\sigma \cdot F_y} = \frac{4,168 \times 10^3}{0,9 \times 240} = 19,296 \text{ mm}^2$$

$$A_{sr} = \frac{1}{4} p D^2$$

$$19,296 = \frac{1}{4} p D^2$$

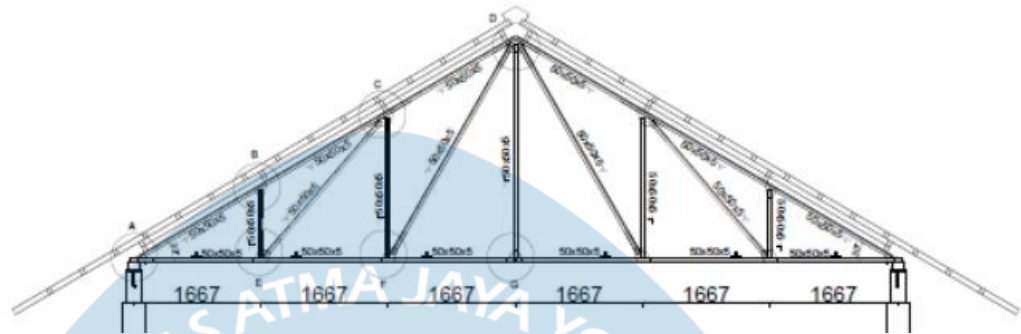
$$D^2 = \frac{19,296}{\frac{1}{4} p}$$

$$D = 4,9567 \text{ mm} \approx 5 \text{ mm} \rightarrow 10 \text{ mm}$$

### Beban Kuda-kuda

Berat sendiri kuda-kuda diperkirakan sekitar 0,83 kN/m.

Berikut ini adalah rangka atap Gedung Galeri Pameran.



**Gambar 2.8** Pembebanan Kuda-Kuda

#### ❖ Beban P1

$$\text{Berat Sendiri Kuda-kuda} = \frac{a}{2} \times \text{berat kuda-kuda}$$

$$= \frac{a}{2} \times 0,83$$

$$= 0,415 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Gording} = L \times \text{berat gording per meter}$$

$$= 4 \times 0,0356$$

$$= 0,198 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Atap} = \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos q} \times L \times \text{berat atap}$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{2} + 1,5\right)}{\cos 30} \times 4 \times 0,4$$

$$= 4,843 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Plafond} = \left(\frac{a}{2} + b\right) \times L \times \text{berat plafond}$$

$$= \left(\frac{1}{2} + 1,5\right) \times 4 \times 0,1986$$

$$= 1,678 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow \text{Beban P1} = 7,134 \text{ kN}$$

#### ❖ Beban P2

$$\text{Berat Sendiri Kuda-kuda} = a \times \text{berat kuda-kuda}$$

$$= 0,830 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Gording} = L \times \text{berat gording per meter}$$



$$= 4 \times 0,0356$$

$$= 0,198 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Atap} = \frac{a}{\cos q} \times L \times \text{berat atap}$$

$$= \frac{1}{\cos 30} \times 4 \times 0,4$$

$$= 3,45 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Plafond} = a \times L \times \text{berat plafond}$$

$$= 1 \times 4 \times 0,1986$$

$$= 1,195 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow \text{Beban P2} = 5,674 \text{ kN}$$

#### ❖ Beban P3

$$\text{Berat Sendiri Kuda-kuda} = a \times \text{berat kuda-kuda}$$

$$= 0,83 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Gording} = 2 \times L \times \text{berat gording per meter}$$

$$= 2 \times 4 \times 0,0356$$

$$= 0,397 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Atap} = \frac{a}{\cos q} \times L \times \text{berat atap}$$

$$= \frac{1}{\cos 25} \times 4 \times 0,4$$

$$= 3,450 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Plafond} = a \times L \times \text{berat plafond}$$

$$= 1 \times 4 \times 0,1986$$

$$= 1,195 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow \text{Beban P3} = 5,872 \text{ kN}$$

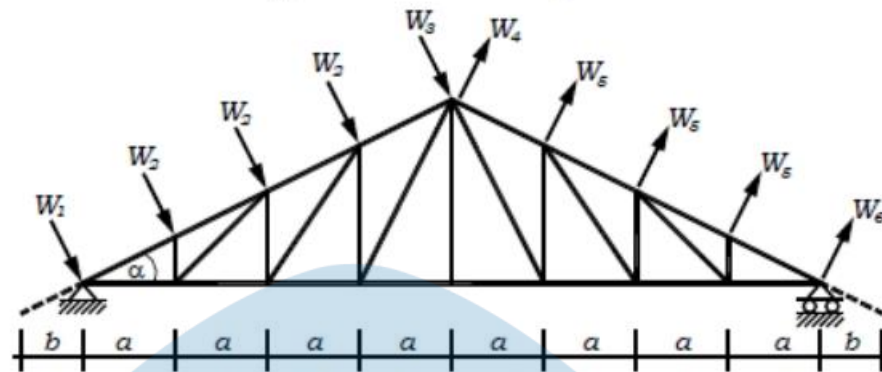
#### Beban Angin

Beban angin pada rangka atap Gedung Galeri Pameran.

Data Perhitungan:

- Cti : 0,2
- Cis : -0,6
- Panjang tritisan (b) : 1,5 m
- Jarak gording (a) : 1,66 m
- Jarak kuda-kuda (L) : 4 m

- Kecepatan angin ( $R_w$ ): 0,25



**Gambar 2. 9** Beban Angin Kuda-Kuda

$$- W_1 = \frac{(\frac{1}{2}+1,5)}{\cos 30} \times 0,2 \times 4 \times 0,25 = 0,5381 \text{ KN}$$

$$- W_2 = \frac{1}{\cos 30} \times 0,2 \times 4 \times 0,25 = 0,3873 \text{ KN}$$

$$- W_3 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{\cos 30} \times 0,2 \times 4 \times 0,25 = 0,1917 \text{ KN}$$

$$- W_4 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{\cos 30} \times (-0,6) \times 4 \times 0,25 = 0,5751 \text{ KN}$$

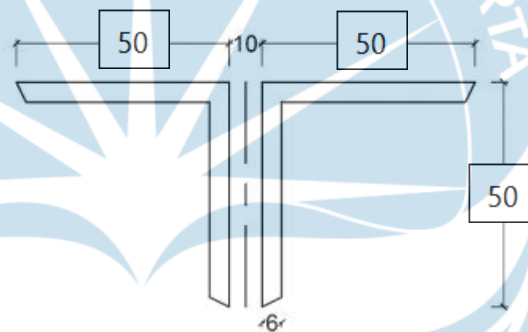
$$- W_5 = \frac{1}{\cos 30} \times (-0,6) \times 4 \times 0,25 = -1,1501 \text{ KN}$$

$$- W_6 = \frac{(\frac{1}{2}+1,5)}{\cos 30} \times (-0,6) \times 4 \times 0,25 = -1,6143 \text{ KN}$$

### 2.3.2 Perencanaan Elemen Kuda-kuda Baja

Pada perencanaan elemen kuda-kuda baja bangunan gedung galeri pameran ini direncanakan menggunakan profil siku 2L 50x50x5 pada lantai 1 dan lantai 2, dengan spesifikasi profil sebagai berikut:

- $A = 4,802 \text{ cm}^2$
- $I_x = I_y = 11,1 \text{ cm}^4$
- $I_x = I_y = 11,1 \text{ cm}^4$
- $C_x = C_y = 1,41 \text{ cm}$
- $TP = 5 \text{ mm}$
- Konstanta Torsi ( $J$ ) =  $65 \times \frac{6^3}{3} = 4680 \text{ mm}^4$
- Modulus Geser Baja ( $G$ ) = 77200 MPa
- Modulus Elastisitas ( $E$ ) = 200000 Mpa



**Gambar 2. 10** Profil Siku 2L 50x50x5

Profil 2L 50x50x5

$$\begin{aligned} A_g &= 2 \times A \\ &= 2 \times 4,802 = 9,604 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{xg} &= 2 \times I_x \\ &= 2 \times 11,1 = 22,2 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{yg} &= (I_{yg} + A_g \left( C_y + \frac{TP}{2} \right)^2) \\ &= (11,1 + (9,604 \times (1,41 + \left( \frac{5}{2} \right)^2)) \\ &= 190,4446 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$r_{xg} = 1,52 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} r_{yg} &= \sqrt{\frac{I_{yg}}{A_g}} \\ &= \sqrt{\frac{190,4446}{9,604}} \\ &= 4,957 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$X_o = 0$$

$$\begin{aligned} Y_o &= 18,2 - (5/2) \\ &= 15,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

Batang Tekan

- Pemeriksaan Tekuk Lentur

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{b}{t} \\ &= \frac{197,231}{18,2} \\ &= 10,8368 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_r &= 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 0,45 \sqrt{\frac{200000}{240}} \\ &= 12,9904 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_r$ , maka non-langsing.

Batang Tekan  $\Rightarrow P_u = 48,815 \text{ kN}$  ( $L=1700 \text{ mm}$ )

Batang Tarik  $\Rightarrow P_u = 46,722 \text{ kN}$  ( $L=1972,31 \text{ mm}$ )

- Rasio Kelangsingan

$$\begin{aligned} \frac{L}{r} &= \frac{1972,31}{19,8} \\ &= 55,7263 < 200 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

- Pemeriksaan Tekuk Lentur (Terhadap Sumbu X-X)

$$\frac{KL}{rx} = \frac{1 \times 1103,38}{19,8}$$

$$= 55,7263$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$= 135,966$$

$$F_e = \frac{p^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$= \frac{p^2 200000}{(55,7263)^2}$$

$$= 635,6381 \text{ MPa}$$

Nilai K=1, karena pada buhul/pertemuan batang dianggap sendi-sendi.

Karena  $\frac{KL}{rx} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka

$$F_{cry} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

$$= \left[ 0,658 \frac{240}{635,6381} \right] 240$$

$$= 204,9171 \text{ Mpa}$$

- Pemeriksaan Tekuk Lentur Torsi

$$a = 1103,38 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{r} = \frac{1103,38}{19,8}$$

$$= 55,7263 > 40, \text{ maka}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right) = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{K_i \cdot a}{r_1}\right)^2}$$

$$= \sqrt{55,7263^2 + (0,5 \times 55,7263)^2}$$

$$= 62,3039$$

Nilai  $K_i = 0,5 \Rightarrow$  menggunakan profil siku.

$$\begin{aligned}
 F_e &= \frac{p^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 \times 200000}{(62,3039)^2} \\
 &= 508,5105 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{cry} &= \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \\
 &= \left[ 0,658 \frac{240}{635,6381} \right] 240 \\
 &= 204,9171 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{crz} &= \frac{GJ}{A_{ro}} \\
 &= \frac{77200 \times 2500}{1505,4 \times 1454,41} \\
 &= 165,0156 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= \left( \frac{F_{cry} + F_{crz}}{2xH} \right) x \left[ 1 - \sqrt{\frac{4F_{cry} \cdot F_{crz} \cdot H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right] \\
 &= \left( \frac{204,9171 + 165,0156}{2 \times 0,843} \right) x \left[ 1 - \sqrt{\frac{4 \times 204,9171 \times 165,0156}{(204,9171 + 165,0156)^2}} \right] \\
 &= 129,8265 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Kekuatan Tekan Desain

$F_{cr} = 204,9171 \text{ MPa} \Rightarrow$  Pemeriksaan tekuk lentur.

$F_{cr} = 129,8265 \text{ MPa} \Rightarrow$  Pemeriksaan tekuk lentur torsi.

- Batang Tarik

- ❖ Rasio Kelangsingan

$$\frac{L}{r} = \frac{1000}{19,8}$$

$$= 50,5051 < 200 \text{ (Aman)}$$

- ❖ Pemeriksaan Leleh Tarik (*Yielding*)

$$\phi P_n = F_y \times A_g$$

$$= 240 \times \frac{1505,4}{1000}$$

$$= 361,296 \text{ KN}$$

## ❖ Pemeriksaan Fraktur

$$A_n = 1505,4 - (1 \times 18 \times 6) = 1397,4 \text{ mm}^2$$

$$A_e = 0,6 \times 1397,4 = 838,4 \text{ mm}^2$$

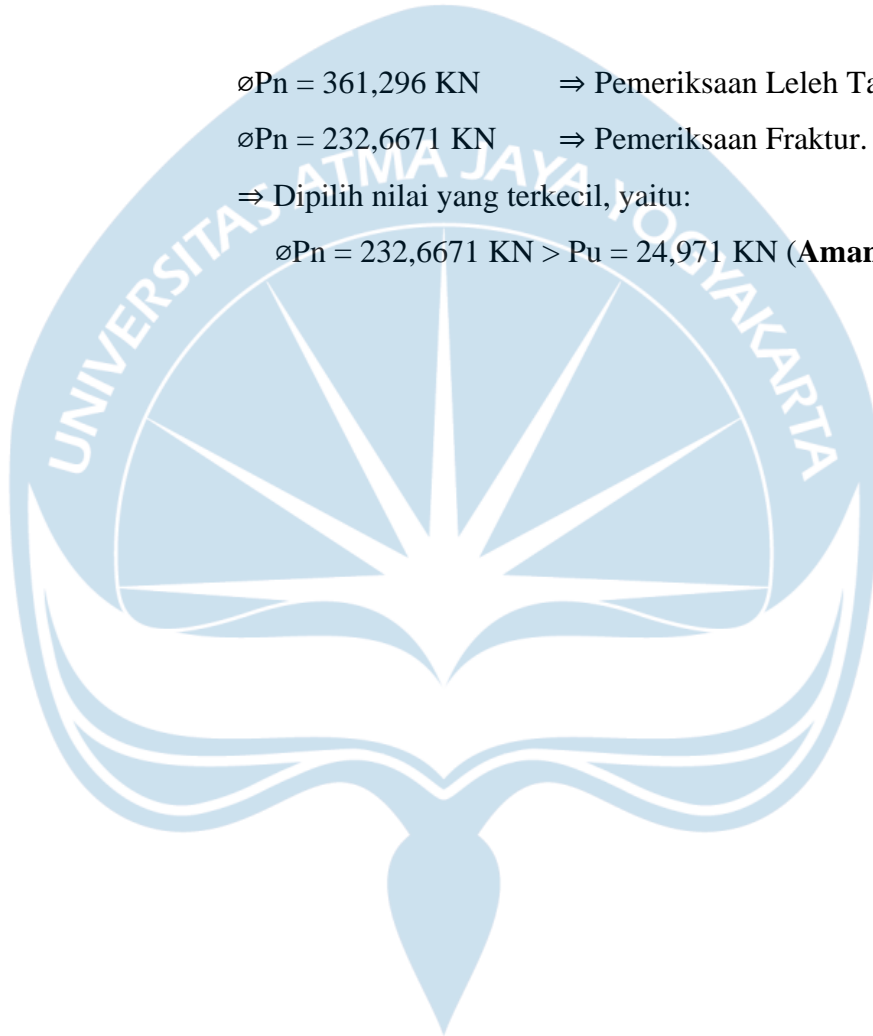
$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,75 \times F_u \times A_e \\ &= 0,75 \times 370 \times 838,4 / 1000 \\ &= 232,6671 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 361,296 \text{ KN} \quad \Rightarrow \text{Pemeriksaan Leleh Tarik.}$$

$$\phi P_n = 232,6671 \text{ KN} \quad \Rightarrow \text{Pemeriksaan Fraktur.}$$

$\Rightarrow$  Dipilih nilai yang terkecil, yaitu:

$$\phi P_n = 232,6671 \text{ KN} > P_u = 24,971 \text{ KN} \text{ (**Aman**)}$$



### 2.3.3 Perencanaan Sambungan Kuda-kuda Baja

Pada perencanaan sambungan kuda-kuda untuk rangka atap bangunan Galeri Pameran Pelatihan Gerabah di Klaten menggunakan sistem sambungan baut. Jumlah baut yang digunakan pada profil kuda-kuda baja *double* siku disesuaikan dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

Pada profil 2L 50x50x5 digunakan spesifikasi profil dan perhitungan jumlah baut sebagai berikut:

#### ❖ Baja BJ42

- Tegangan leleh minimum ( $f_y$ ) = 240 Mpa
- Tegangan putus minimum ( $f_u$ ) = 420 Mpa

#### ❖ Rencana baut

- Diameter baut ( $D_{\text{baut}}$ ) = 10 mm
- Diameter Lubang ( $D_{\text{lubang}}$ ) = 11 mm

#### ❖ Tinjauan terhadap kuat geser baut

Diketahui:

- $m = 2$  (bidang geser)
- $F_u^b = 372$  MPa

$$\begin{aligned} \text{Luas baut } (A_b) &= \frac{1}{4} \times p \times D_{\text{baut}}^2 \\ &= \frac{1}{4} \times p \times 10^2 \\ &= 78,5398 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= m \times F_u^b \times A_b \\ &= 2 \times 372 \times \frac{78,5398}{1000} \\ &= 58,4336 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset R_n &= 0,75 \times R_n \\ &= 0,75 \times 58,4336 \\ &= 43,8252 \text{ KN} \end{aligned}$$

#### ❖ Jumlah Baut

Dimana nilai  $P_u$  menggunakan nilai  $\emptyset P_n$  terkecil dari pemeriksaan leleh dan fraktur, maka

$$\text{Jumlah baut} = \frac{P_u}{f R_n}$$



$$= \frac{232,6671 \text{ KN}}{112,1926 \text{ KN}}$$

$$= 2,1 \text{ baut} \approx 3 \text{ baut}$$

❖ *Block Shear*

Diketahui:

- Jarak antar baut ( $S$ ) =  $3 \times D_{\text{baut}}$   
 $= 3 \times 19\text{mm}$   
 $= 48 \text{ mm}$
- Jarak tepi plat ke baut ( $S_1$ ) =  $1,5 \times D_{\text{baut}}$   
 $= 1,5 \times 16\text{mm}$   
 $= 24 \text{ mm}$
- Jarak keseluruhan baut dengan plat =  $S_1 + S$   
 $= 24\text{mm} + 48\text{mm}$   
 $= 72 \text{ mm}$
- $A_{gv} = 2 \times (t \times (S + S_1))$   
 $= 2 \times (5 \times (48 + 24))$   
 $= 720 \text{ mm}^2$
- $A_{nv} = 2 \times (t \times (S + S_1) - (2,5 \times D_{\text{lubang}}))$   
 $= 2 \times (t \times (S + S_1) - (2,5 \times 18))$   
 $= 324 \text{ mm}^2$
- $A_{nt} = 2 \times (t \times (S_1 - (0,5 \times D_{\text{lubang}})))$   
 $= 2 \times (t \times (S_1 - (0,5 \times 18)))$   
 $= 180 \text{ mm}^2$
- $R_n = \frac{(0,6 \times F_u \times A_{nv} + 1 \times F_u \times A_{nt})}{1000}$   
 $= \frac{(0,6 \times 370 \times 324 + 1 \times 370 \times 180)}{1000}$   
 $= 138,528 \text{ kN}$
- $R_n \text{ max} = \frac{(0,6 \times F_y \times A_{gv} + 1 \times F_u \times A_{nt})}{1000}$   
 $= \frac{(0,6 \times 240 \times 720 + 1 \times 370 \times 150)}{1000}$   
 $= 191,016 \text{ kN}$

Dengan nilai  $R_n < R_n \text{ max}$ , maka digunakan nilai  $R_n = 138,528 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}
 - \phi R_n &= 0,75 \times R_n \\
 &= 0,75 \times 138,528 \\
 &= 103,896 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

❖ Tinjauan terhadap kuat tumpu

- *Bearing Deformation*

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,4 \times D_{\text{baut}} \times t \times F_u \\
 &= 2,4 \times 16 \times 6 \times 370 \\
 &= 85,248 \text{ kN} \\
 &= 170,496 \text{ kN (2 profil siku)}
 \end{aligned}$$

- *Tear Out Strength*

Dengan rumus  $R_n = 1,2 \times l_c \times t \times F_u$  didapatkan nilai  $R_n$  tiap baut sebagai berikut:

Baut 1

$$\begin{aligned}
 L_{c1} &= S_1 - (0,5 \times D_{\text{lubang}}) \\
 &= 24 - (0,5 \times 18) \\
 &= 15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{n1} &= 1,2 \times 15 \times 6 \times \frac{370}{1000} \\
 &= 39,960 \text{ kN} \\
 &= 79,920 \text{ kN (2L profil siku)}
 \end{aligned}$$

Baut 2

$$\begin{aligned}
 L_{c1} &= S - (0,5 \times D_{\text{lubang}}) \\
 &= 48 - (0,5 \times 18) \\
 &= 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{n1} &= 1,2 \times 30 \times 6 \times \frac{370}{1000} \\
 &= 79,920 \text{ kN} \\
 &= 159,840 \text{ kN (2L profil siku)}
 \end{aligned}$$

Baut 3

$$\begin{aligned}
 L_{c1} &= S - D_{\text{lubang}} \\
 &= 48 - 18 \\
 &= 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{n1} &= 1,2 \times 30 \times 6 \times \frac{370}{1000} \\
 &= 79,920 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$= 159,840 \text{ kN (2L profil siku)}$$

Dari nilai Rn pada tiap baut (*Tear Out Strength*) kurang dari Rn (*Bearing Deformation*), maka didapat nilai Rn total adalah

$$1,2 \times l_c \times t \times F_u < 2,4 \times D_{baut} \times t \times F_u$$

$$\begin{aligned} R_n &= R_{n_1} + R_{n_2} + R_{n_3} \\ &= 79,920 + 159,840 + 159,840 \\ &= 399,600 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset R_n &= 0,75 \times R_n \\ &= 0,75 \times 399,600 \\ &= 299,700 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari nilai nilai yang didapat dari hasil perhitungan diatas, nilai-nilai tersebut di rekap kemudian dipilih nilai terkecil untuk digunakan sebagai nilai  $\emptyset R_n$ .

- $\emptyset P_n = 232,6671 \text{ kN}$
- $\emptyset R_n \text{ (kuat geser)} = 112,1926 \text{ kN}$
- $\emptyset R_n \text{ (Kuat tumpu)} = 299,700 \text{ kN}$
- $\emptyset R_n \text{ (block shear)} = 103,896 \text{ kN}$

Dari data diatas dipilih nilai terkecil dan didapatkan nilai  $\emptyset R_n = 103,896 \text{ kN}$

## 2.4 Pemodelan Struktur Bangunan

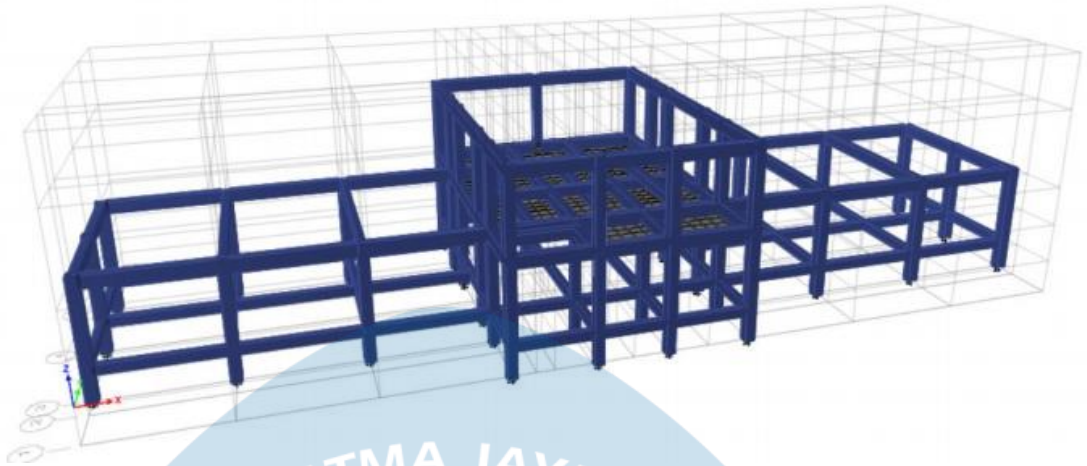
Pemodelan struktur dilakukan untuk mengetahui gaya-gaya yang terjadi pada elemen struktur serta perilaku struktur akibat pembebanan yang diberikan. Hasil dari pemodelan struktur digunakan sebagai dasar untuk mendesain dimensi penampang elemen struktur yang diperlukan. Bangunan Galeri Pameran ini didesain dengan menggunakan sistem struktur berupa Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Struktur tersebut dimodelkan dalam model 3 dimensi menggunakan bantuan *software* ETABS.

Dalam pemodelan di ETABS, terlebih dahulu menentukan beberapa elemen seperti satuan, material-material, dan kombinasi pembebanan yang akan digunakan dalam mendesain bangunan tersebut. Terdapat empat jenis beban yang perlu dipertimbangkan, yaitu beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin. Beban mati adalah beban yang berasal dari berat sendiri struktur dan beban yang bersifat permanen. Beban hidup merupakan beban dinamis yang dapat berubah, seperti manusia dan benda-benda lain di dalam bangunan. Beban gempa adalah beban yang timbul akibat pergerakan tanah akibat gempa. Sementara itu, beban angin adalah beban yang bekerja pada bangunan akibat perbedaan tekanan udara yang disebabkan oleh pergerakan udara.

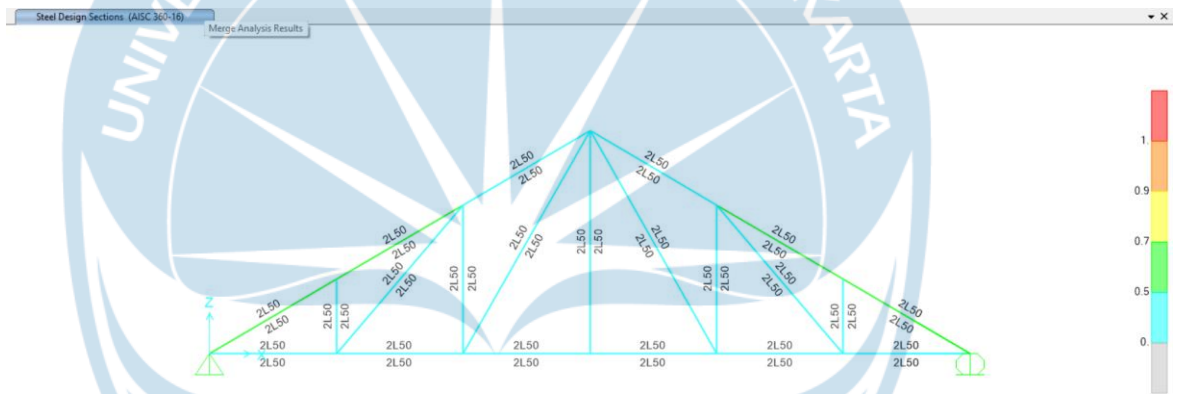
Kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Standar Nasional Indonesia (SNI) yang dikeluarkan oleh Badan Standardisasi Nasional. Kombinasi pembebanan ultimit ditetapkan berdasarkan Pasal 4.2.2 SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Gedung, yaitu sebagai berikut:

- 1)  $1,4DL$
- 2)  $1,2DL + 1,6LL + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
- 3)  $1,2DL + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
- 4)  $1,2DL + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
- 5)  $1,2DL + 1,0E + 1,0LL$
- 6)  $0,9DL + 1,0W$
- 7)  $0,9DL + 1,0E$

Berikut merupakan gambar pemodelan Gedung Galeri Pameran yang memiliki luas bangunan  $520 \text{ m}^2$  dengan jumlah lantai 2.



**Gambar 2. 11** Pemodelan Struktur Gedung Galeri Pameran

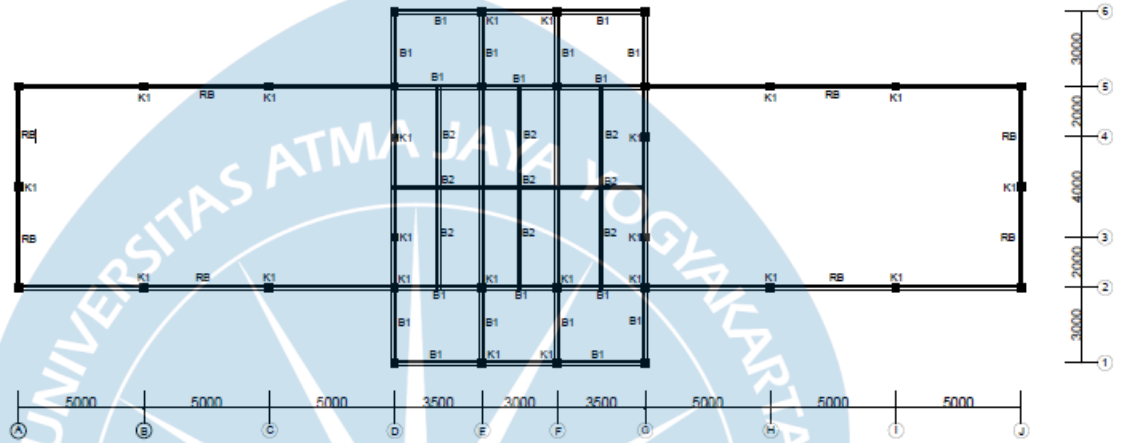


**Gambar 2. 12** Pemodelan Struktur Atap Gedung Galeri Pameran

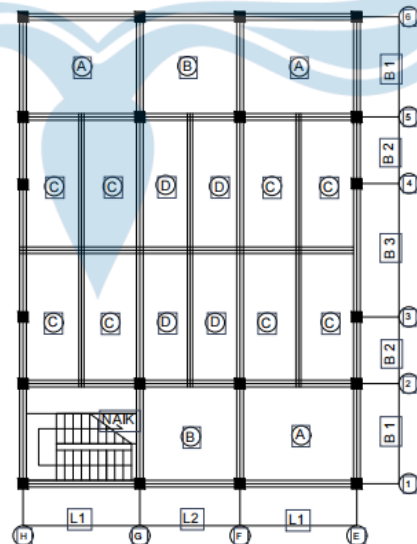
## 2.5 Preliminary Design

### 2.5.1 Preliminary Design Bangunan

Berikut ini adalah denah balok dan pelat lantai bangunan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 dan Gambar 2.14.



Gambar 2.13 Denah Balok Bangunan



Gambar 2.14 Denah Tipe Lantai Bangunan

### A. Balok

Mutu Baja ( $F_y$ ) = 420 MPa

Komponen Struktur Balok:

- Menerus satu sisi

$$h_{\min} = \frac{L}{18,5}$$

$$b_{\min} = 0,5h$$

- Menerus dua sisi

$$h_{\min} = \frac{L}{21}$$

$$b_{\min} = 0,5h$$

- ❖ Balok bentang 3 meter (Potongan 1-2)

Kondisi Perletakan = Menerus Satu Sisi

$$h_{\min} = \frac{L}{18,5} = \frac{3000}{18,5} = 162 \text{ mm}$$

$$b_{\min} = 0,5h = 0,5(162) = 81 \text{ mm}$$

- ❖ Balok bentang 3.5 meter (Potongan F-G)

Kondisi Perletakan = Menerus Satu Sisi

$$h_{\min} = \frac{L}{18,5} = \frac{3500}{18,5} = 189.189 \text{ mm}$$

$$b_{\min} = 0,5h = 0,5(162) = 94.595 \text{ mm}$$

- ❖ Balok bentang 3 meter (Potongan E-F)

Kondisi Perletakan = Menerus Dua Sisi

$$h_{\min} = \frac{L}{21} = \frac{3000}{21} = 143 \text{ mm}$$

$$b_{\min} = 0,5h = 0,5(143) = 71 \text{ mm}$$

- ❖ Balok bentang 2 meter (Potongan 2-3)

Kondisi Perletakan = Menerus Dua Sisi

$$h_{\min} = \frac{L}{21} = \frac{2000}{21} = 95 \text{ mm}$$

$$b_{\min} = 0,5h = 0,5(95) = 48 \text{ mm}$$

- ❖ Balok bentang 4 meter (Potongan 3-4)

Kondisi Perletakan = Menerus Dua Sisi

$$h_{\min} = \frac{L}{21} = \frac{4000}{21} = 190 \text{ mm}$$

$$b_{\min} = 0,5h = 0,5(190) = 95 \text{ mm}$$

Dengan meninjau nilai minimum yang didapatkan, direncanakan dimensi keseluruhan balok bangunan adalah 300 mm x 500 mm. Jadi, karena nilai h lebih besar dari  $h_{min}$  seluruh bentang, dan nilai b juga lebih besar dari  $b_{min}$  seluruh bentang maka balok rencana dinyatakan **AMAN**.

## B. Pelat Lantai

### ❖ Pelat Lantai Tipe A

Tipe pelat lantai A pada bada bangunan A, dapat dilihat pada Gambar 2.13.

Diketahui :

$$\text{Beton } (f_c') = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Baja } (F_y) = 420 \text{ Mpa}$$

$$E_{cb} = E_{cs} = 4700\sqrt{f_c'} = 4700\sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{3500}{3000} = 1.16666 < 2$$

Maka, Pelat A termasuk kedalam pelat dua arah.

Estimasi Pelat = 120 mm

Balok 300 mm x 500 mm

#### 1. Dimensi Efektif

Diketahui :

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

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$f = h.b = (h-h_f) = 380 \text{ mm}$$

$$b_e = b_w + f = 680 \text{ mm}$$

$$\text{syarat : } hb < 4hf$$

$$380 \text{ mm} < 680 \text{ mm}$$

#### 2. Luas Penampang

$$A_1 = 300 \times 380 = 114000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 680 \times 120 = 81600 \text{ mm}^2$$

$$A_{total} = 114000 + 81600 = 195600 \text{ mm}^2$$



### 3. Titik Berat Penampang

Jarak titik berat I ke sumbu x ( $y_{i1}$ )

$$y_{i1} = \frac{1}{2}hb = \frac{1}{2} \cdot 380 = 190 \text{ mm}$$

Jarak titik berat II ke sumbu x ( $y_{i2}$ )

$$y_{i2} = hb + \left(\frac{1}{2}hf\right) = 380 + \left(\frac{1}{2}120\right) = 440 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{(A1.y_{i1}) + (A2.y_{i2})}{A_{total}} = \frac{(114000 \times 135) + (81600 \times 335)}{195600} = 253.4969 \text{ mm}$$

### 4. Jarak Titik Berat Bidang Terhadap Titik Berat Penampang

$$y_1 = \bar{y} - y_{i1} = 253.497 - 190 = 63.4969 \text{ mm}$$

$$y_2 = \bar{y} - y_{i2} = 253.497 - 440 = 186.5030 \text{ mm}$$

### 5. Momen Inersia

- Balok ( $I_b$ )

$$I_b = \left[ \left( \frac{1}{12} b_w \cdot h_b^3 \right) + (A1 \cdot y_1) \right] + \left[ \left( \frac{1}{12} b_e \cdot h_f^3 \right) + (A2 \cdot y_2) \right]$$

$$= 1492177291 \text{ mm}^4$$

- Pelat ( $I_s$ )

$$\text{Panjang balok} = 3500 \text{ mm} = 3.50 \text{ m}$$

$$\text{Panjang pelat} = 3000 \text{ mm} = 3 \text{ m}$$

$$L_x = 3000 \text{ mm} = 3000 \text{ mm} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi pelat (hf)} = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$$

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot L_x \cdot h_f^3$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 3000 \cdot 120^3$$

$$= 432000000 \text{ mm}^4$$

### 6. Ratio Kekakuan Balok Terhadap Pelat

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = 3.45 > 0,8 \text{ (OK)}$$

### ❖ Pelat Lantai Tipe B

Diketahui :

$$\text{Beton (fc')} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Baja (Fy)} = 420 \text{ Mpa}$$

$$E_{cb} = E_{cs} = 4700\sqrt{f'c'} = 4700\sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{3000}{3000} = 1 < 2$$

Maka, Pelat A termasuk kedalam pelat dua arah.

Estimasi Pelat = 120 mm

Balok 300 mm x 500 mm

### 1. Dimensi Efektif

Diketahui :

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

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$f = h_b = (h - h_f) = 380 \text{ mm}$$

$$b_e = b_w + f = 680 \text{ mm}$$

$$\text{syarat : } h_b < 4h_f$$

$$380 \text{ mm} < 680 \text{ mm}$$

### 2. Luas Penampang

$$A_1 = 300 \times 380 = 114000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 680 \times 120 = 81600 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{total}} = 114000 + 81600 = 195600 \text{ mm}^2$$

### 3. Titik Berat Penampang

Jarak titik berat I ke sumbu x ( $y_{i1}$ )

$$y_{i1} = \frac{1}{2} h_b = \frac{1}{2} \cdot 380 = 190 \text{ mm}$$

Jarak titik berat II ke sumbu x ( $y_{i2}$ )

$$y_{i2} = h_b + \left(\frac{1}{2} h_f\right) = 380 + \left(\frac{1}{2} \cdot 120\right) = 440 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{(A_1 y_{i1}) + (A_2 y_{i2})}{A_{\text{total}}} = \frac{(114000 \times 190) + (81600 \times 440)}{195600} = 253.4969 \text{ mm}$$

### 4. Jarak Titik Berat Bidang Terhadap Titik Berat Penampang

$$y_1 = \bar{y} - y_{i1} = 253.497 - 190 = 63.4969 \text{ mm}$$

$$y_2 = \bar{y} - y_{i2} = 253.497 - 440 = 186.5030 \text{ mm}$$

## 5. Momen Inersia

- Balok ( $I_b$ )

$$I_b = \left[ \left( \frac{1}{12} b_w \cdot h b^3 \right) + (A1 \cdot y1) \right] + \left[ \left( \frac{1}{12} b_e \cdot h f^3 \right) + (A2 \cdot y2) \right]$$

$$= 1492177291 \text{ mm}^4$$

- Pelat ( $I_s$ )

$$\text{Panjang balok} = 3000 \text{ mm} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Panjang pelat} = 3000 \text{ mm} = 3 \text{ m}$$

$$L_x = 3000 \text{ mm} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi pelat (hf)} = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$$

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot L_x \cdot h f^3$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 3000 \cdot 120^3$$

$$= 432000000 \text{ mm}^4$$

## 6. Ratio Kekakuan Balok Terhadap Pelat

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = 3.45 > 0,8 \text{ (OK)}$$

### ❖ Pelat Lantai Tipe C

Diketahui :

$$\text{Beton (fc')} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Baja (Fy)} = 420 \text{ Mpa}$$

$$E_{cb} = E_{cs} = 4700 \sqrt{f'c'} = 4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{4000}{1750} = 2.286 > 2$$

Maka, Pelat A termasuk kedalam pelat satu arah.

Estimasi Pelat = 120 mm

Balok 300 mm x 500 mm

## 1. Dimensi Efektif

Diketahui :

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

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$f = h.b = (h-hf) = 380 \text{ mm}$$

$$be = bw + f = 680 \text{ mm}$$

$$\text{syarat : } hb < 4hf$$

$$380\text{mm} < 680 \text{ mm}$$

## 2. Luas Penampang

$$A1 = 300 \times 380 = 114000 \text{ mm}^2$$

$$A2 = 680 \times 120 = 81600 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{total}} = 114000 + 81600 = 195600 \text{ mm}^2$$

## 3. Titik Berat Penampang

Jarak titik berat I ke sumbu x ( $y_{i1}$ )

$$y_{i1} = \frac{1}{2}hb = \frac{1}{2} \cdot 380 = 190 \text{ mm}$$

Jarak titik berat II ke sumbu x ( $y_{i2}$ )

$$y_{i2} = hb + \left(\frac{1}{2}hf\right) = 380 + \left(\frac{1}{2}120\right) = 440 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{(A1.y_{i1}) + (A2.y_{i2})}{A_{\text{total}}} = \frac{(114000 \times 190) + (81600 \times 440)}{195600} = 253.4969 \text{ mm}$$

## 4. Jarak Titik Berat Bidang Terhadap Titik Berat Penampang

$$y1 = \bar{y} - y_{i1} = 253.497 - 190 = 63.4969 \text{ mm}$$

$$y2 = \bar{y} - y_{i2} = 253.497 - 440 = 186.5030 \text{ mm}$$

## 5. Momen Inersia

- Balok ( $I_b$ )

$$I_b = \left[ \left( \frac{1}{12}bw \cdot hb^3 \right) + (A1 \cdot y1) \right] + \left[ \left( \frac{1}{12}be \cdot hf^3 \right) + (A2 \cdot y2) \right]$$

$$= 1492177291 \text{ mm}^4$$

- Pelat ( $I_s$ )

$$\text{Panjang balok} = 4000 \text{ mm} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Panjang balok sisi kiri dan kanan} = 3500 \text{ mm} = 3.5 \text{ m}$$

$$L_x = \frac{3500}{2} = 1750 \text{ mm} = 1.75 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi pelat (hf)} = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$$

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot L_x \cdot hf^3$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 1750 \cdot 120^3$$

$$= 252000000 \text{ mm}^4$$

## 6. Ratio Kekakuan Balok Terhadap Pelat

$$\alpha f = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = 5.92 > 0,8 \text{ (OK)}$$

### ❖ Pelat Lantai Tipe D

Diketahui :

$$\text{Beton (fc')} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Baja (Fy)} = 420 \text{ Mpa}$$

$$E_{cb} = E_{cs} = 4700 \sqrt{f_{c'}} = 4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{4000}{1500} = 2.667 > 2$$

Maka, Pelat A termasuk kedalam pelat satu arah.

Estimasi Pelat = 120 mm

Balok 300 mm x 500 mm

#### 1. Dimensi Efektif

Diketahui :

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

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$f = h \cdot b = (h - h_f) = 380 \text{ mm}$$

$$b_e = b_w + f = 680 \text{ mm}$$

$$\text{syarat : } hb < 4hf$$

$$381 \text{ mm} < 680 \text{ mm}$$

#### 2. Luas Penampang

$$A_1 = 300 \times 380 = 114000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 680 \times 120 = 81600 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{total}} = 114000 + 81600 = 195600 \text{ mm}^2$$

### 3. Titik Berat Penampang

Jarak titik berat I ke sumbu x ( $y_{i1}$ )

$$y_{i1} = \frac{1}{2}hb = \frac{1}{2} \cdot 380 = 190 \text{ mm}$$

Jarak titik berat II ke sumbu x ( $y_{i2}$ )

$$y_{i2} = hb + \left(\frac{1}{2}hf\right) = 380 + \left(\frac{1}{2}120\right) = 440 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{(A1.y_{i1}) + (A2.y_{i2})}{A_{total}} = \frac{(114000 \times 135) + (81600 \times 335)}{195600} = 253.4969 \text{ mm}$$

### 4. Jarak Titik Berat Bidang Terhadap Titik Berat Penampang

$$y1 = \bar{y} - y_{i1} = 253.497 - 190 = 63.4969 \text{ mm}$$

$$y2 = \bar{y} - y_{i2} = 253.497 - 440 = 186.5030 \text{ mm}$$

### 5. Momen Inersia

- Balok ( $I_b$ )

$$I_b = \left[ \left( \frac{1}{12} b_w \cdot h_b^3 \right) + (A1 \cdot y1) \right] + \left[ \left( \frac{1}{12} b_e \cdot h_f^3 \right) + (A2 \cdot y2) \right]$$

$$= 1492177291 \text{ mm}^4$$

- Pelat ( $I_s$ )

$$\text{Panjang balok} = 4000 \text{ mm} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Panjang balok sisi kiri dan kanan} = 3000 \text{ mm} = 3 \text{ m}$$

$$L_x = \frac{3000}{2} = 1500 \text{ mm} = 1.5 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi pelat (hf)} = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$$

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot L_x \cdot h_f^3$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 1500 \cdot 120^3$$

$$= 216000000 \text{ mm}^4$$

### 6. Ratio Kekakuan Balok Terhadap Pelat

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = 6.91 > 0,8 \text{ (OK)}$$

❖ Rasio Kekakuan Rata-rata ( $\alpha_{fm}$ )

$$\alpha_{fm} = \frac{3.45 + 3.45 + 5.92 + 6.91}{4} = 4.93$$

❖ Ketebalan Minimum Pelat ( $h_{min}$ )

$$L_n = L_{n1} = 2750 \text{ mm}$$

$$L_{n2} = 2750 \text{ mm}$$

$$\beta = 1$$

$$\alpha_m > 2$$

$$h = \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} = 75,625 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

Sehingga tebal pelat minimum adalah 120 mm.

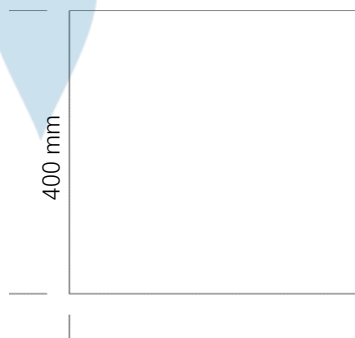
#### ❖ Rencana Pelat Lantai

| Pelat | Af   | h     | $h_{\min}$ | Ket             |
|-------|------|-------|------------|-----------------|
| A     | 3.45 | 97.22 | 120        | Pelat Dua Arah  |
| B     | 3.45 | 83.33 | 120        | Pelat Dua Arah  |
| C     | 5.92 | 41.67 | 120        | Pelat Satu Arah |
| D     | 6.91 | 48.61 | 120        | Pelat Satu Arah |

Maka, asumsi tebal pelat 120 mm dapat digunakan karena lebih besar dari tebal pelat minimum ( $h_{\min}$ ).

#### C. Kolom

Rencana kolom yang akan digunakan pada bangunan A berukuran 400 mm x 400 mm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Kolom Ukuran 400 mm x 400 mm

❖ Kolom 400 mm x 400 mm

Syarat dimensi penampang kolom SRPMK:

1.  $b \leq h$

$400 \text{ mm} \leq 400 \text{ mm}$  (**OK**)

2.  $b \geq 300$

$400 \text{ mm} \geq 300$  (**OK**)

3.  $b/h > 0,4$

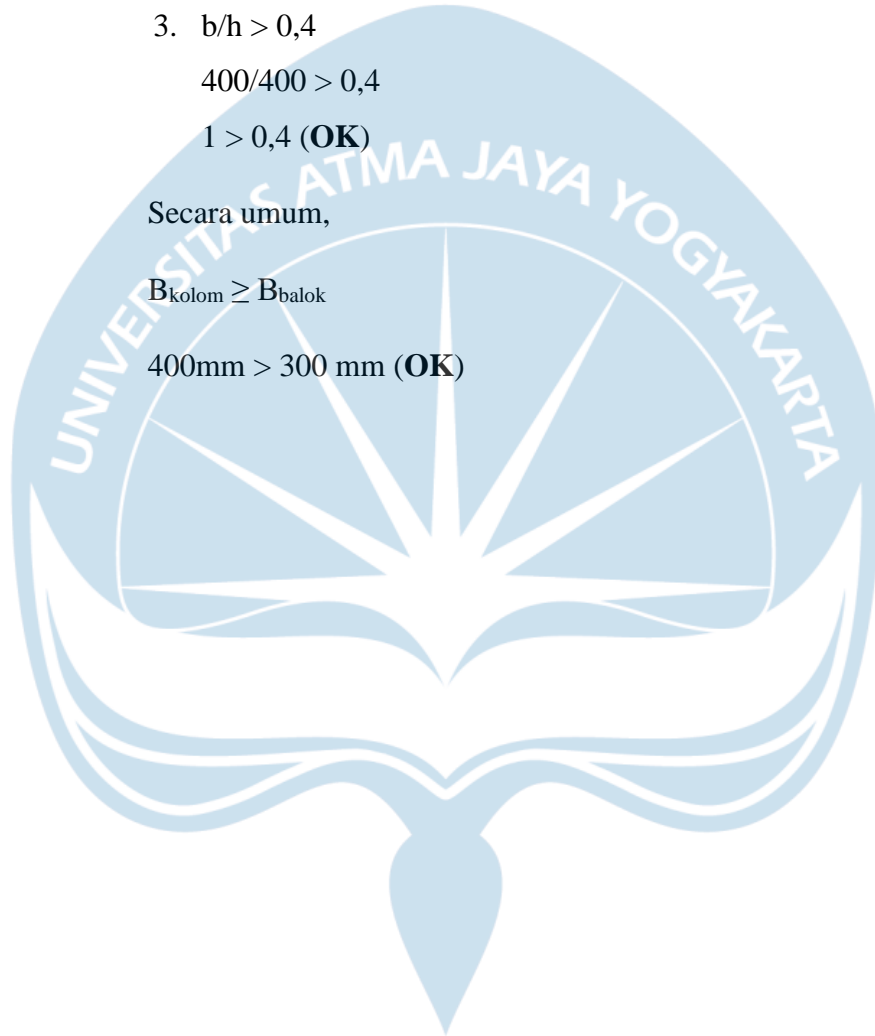
$400/400 > 0,4$

$1 > 0,4$  (**OK**)

Secara umum,

$B_{\text{kolom}} \geq B_{\text{balok}}$

$400 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$  (**OK**)





## 2.6 Perancangan Pelat Lantai

### 2.6.1 Pembebanan Pelat Lantai

Pembebanan pelat lantai dianalisis berdasarkan pada SNI 1727-2020. Pembebanan desain minimum dan kriteria terkait konstruksi gedung dan struktur lain. Fungsi dari pembebanan adalah untuk memberikan pembebanan pada struktur bangunan yang akan dirancang . Pembebanan yang akan diberikan antara lain :

1. Beban Mati (Dead Load)
2. Beban Hidup (Live Load)
3. Pembebanan Terfaktor

Pembebanan terfaktor dianalisis dengan persamaan di bawah ini sesuai dengan SNI 1727-2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait bangunan gedung dan struktur lain pasal 2.3.1

$$W_u = 1,2DL + 1,6LL$$

Dari ketiga poin diatas dilakukan analisis dan didapatkan hasil sebagai berikut

| Fungsi Plat | No. | Macam Pembebanan   | Tebal | Berat Volume         | Beban Mati ( <i>D</i> ) | Beban Mati           | Beban Hidup ( <i>L</i> ) | Wu<br>(1,2D+1,6L)    |
|-------------|-----|--------------------|-------|----------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|
|             |     |                    | (mm)  | (kN/m <sup>3</sup> ) | (kN/m <sup>2</sup> )    | (kN/m <sup>2</sup> ) | (kN/m <sup>2</sup> )     | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| Lantai      | 1.  | Beban sendiri      | 120   | 24                   | 2.88                    | -                    | -                        | -                    |
|             | 2.  | Beban pasir        | 50    | 18                   | 0.9                     | -                    | -                        | -                    |
|             | 3.  | Beban ubin + spesi | 50    | 21                   | 1.05                    | -                    | -                        | -                    |
|             | 4.  | Beban plafon+ME    | -     | -                    | 0.35                    | -                    | -                        | -                    |
|             | 5.  | Lain-lain          | -     | -                    | -                       | -                    | -                        | -                    |
| Total       |     |                    |       |                      | 5.18                    | 2.3                  | 4.8                      | 13.896               |

:

### 2.6.2 Penulangan Pelat Lantai

Momen ditentukan dengan metode koefisien momen sesuai dengan PBI

1971 digunakan rumus sebagai berikut:

1. Momen lapangan arah x:

$$M_{tx} = 0,001 \times W_u \times l_x^2 \times X$$

2. Momen lapangan arah y:

$$M_{ty} = 0,001 \times W_u \times l_y^2 \times X$$

3. Momen tumpuan arah x:

$$M_{tx} = -0,001 \times W_u \times l_x^2 \times X$$

4. Momen tumpuan arah y:

$$M_{ty} = -0,001 \times W_u \times l_y^2 \times X$$

Berdasarkan empat poin di atas dilakukan analisis dan didapatkan momen sebagai berikut :

| Pelat Lantai | Momen Tumpuan<br>(kNm) |             | Momen Lapangan<br>(kNm) |            |
|--------------|------------------------|-------------|-------------------------|------------|
|              | Arah X                 | Arah Y      | Arah X                  | Arah Y     |
| A            | -6.128136              | -4.502304   | 6.128136                | 4.502304   |
| B            | -4.502304              | -4.502304   | 4.502304                | 4.502304   |
| C            | -2.6810595             | -8.448768   | 2.6810595               | 2.890368   |
| D            | -1.39696488            | -8.37539712 | 1.39696488              | 8.37539712 |

### 2.6.3 Penulangan Pelat Lantai

#### 1. Perhitungan Tulangan Lentur

##### a. Luas Tulangan Minimum ( $A_{s_{min}}$ )

Pada perencanaan gedung ini digunakan jenis tulangan batang ulir dengan mutu 420 Mpa, setelah itu dilakukan analisis perhitungan menggunakan rumus berdasarkan SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung pasal 7.6.1.1 :

- $\frac{0,0018 \times 420 \times A_g}{f_y}$

- $0,0014 \times A_g$

##### b. Luas Tulangan Perlu ( $A_{s_{perlu}}$ )

Luas tulangan perlu dianalisis berdasarkan persamaan berikut :

- $T_s = C_c$

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

##### c. Luas Tulangan Pakai ( $A_{s_{pakai}}$ )

Luas tulangan pakai ditentukan dengan menggunakan nilai terbesar antara  $A_{s_{perlu}}$  dan  $A_{s_{min}}$ .

##### d. Spasi Tulangan Lentur

Spasi tulangan lentur ditentukan dengan menghitung luas tulangan terpasang terlebih dahulu dengan rumus sebagai berikut :

$$A_{st} = 0,25 \times \pi \times d_b$$

Luas tulangan terpasang yang didapat selanjutnya dipakai untuk menghitung jarak tulangan terpakai ( $S_{pakai}$ ) dengan rumus sebagai berikut :

$$S_{pakai} = \frac{b \times A_{st}}{A_{s_{pakai}}}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung pasal 8.7.2.2 spasi tulangan ulir maksimum untuk pelat solid nonprategang adalah hasil minimum dari 2h.

Berdasarkan poin-poin di atas didapatkan hasil dari analisis perhitungan tulangan lentur pelat lantai sebagai berikut :

**Tabel 2. 8 Tulangan Lentur Arah X**

| Pelat | Tulangan Arah X |             |           |         |             |            |                     |          |     |         |              |                   |    |   |     |           |
|-------|-----------------|-------------|-----------|---------|-------------|------------|---------------------|----------|-----|---------|--------------|-------------------|----|---|-----|-----------|
|       | dx              | Mnx         | Rn        | m       | $\rho$      | $\rho$ min | $\rho$ yg digunakan | As perlu | s   | s pakai | As terpasang | Dipasang tulangan |    |   |     | CEK       |
|       | mm              | N.mm        |           |         |             |            |                     | mm       | mm  |         | mm           |                   |    |   |     |           |
| A     | 95              | 6809040.000 | 0.7544643 | 19.7647 | 0.001829417 | 0,0014     | 0.002               | 190      | 360 | 300     | 261.799388   | D                 | 10 | - | 300 | <b>OK</b> |
| B     | 95              | 5002560.000 | 0.5543003 | 19.7647 | 0.00133744  | 0,0014     | 0.002               | 190      | 360 | 300     | 261.799388   | D                 | 10 | - | 300 | <b>OK</b> |
| C     | 95              | 2188620.000 | 0.2425064 | 19.7647 | 0.000580729 | 0,0014     | 0.002461            | 233.795  | 360 | 300     | 261.799388   | D                 | 10 | - | 300 | <b>OK</b> |
| D     | 95              | 6208732.800 | 0.6879482 | 19.7647 | 0.001665    | 0,0014     | 0.002               | 190      | 360 | 300     | 261.799388   | D                 | 10 | - | 300 | <b>OK</b> |

**Tabel 2. 9 Tulangan Lentur Arah X**

| Pelat | Tulangan Arah Y |             |             |         |             |            |                     |          |     |         |              |                   |    |   |     |           |
|-------|-----------------|-------------|-------------|---------|-------------|------------|---------------------|----------|-----|---------|--------------|-------------------|----|---|-----|-----------|
|       | dx              | Mnx         | Rn          | m       | $\rho$      | $\rho$ min | $\rho$ yg digunakan | As perlu | s   | s pakai | As terpasang | Dipasang tulangan |    |   |     | CEK       |
|       | mm              | N.mm        |             |         |             |            |                     | mm       | mm  |         | mm           |                   |    |   |     |           |
| A     | 85              | 5002560.000 | 0.692395848 | 19.7647 | 0.001676332 | 0,0014     | 0.002               | 170      | 360 | 200     | 392.699082   | D                 | 10 | - | 200 | <b>OK</b> |
| B     | 85              | 5002560.000 | 0.692395848 | 19.7647 | 0.001676332 | 0,0014     | 0.002129            | 180.965  | 360 | 200     | 392.699082   | D                 | 10 | - | 200 | <b>OK</b> |
| C     | 85              | 3211520.000 | 0.444501038 | 19.7647 | 0.001069643 | 0,0014     | 0.002594            | 220.49   | 360 | 200     | 392.699082   | D                 | 10 | - | 200 | <b>OK</b> |
| D     | 85              | 9305996.800 | 1.288027239 | 19.7647 | 0.003165774 | 0,0014     | 0.002477            | 210.545  | 360 | 200     | 392.699082   | D                 | 10 | - | 200 | <b>OK</b> |

## 2. Perhitungan Tulangan Susut/Bagi

Tulangan susut tidak memerlukan perhitungan tetapi dianalisis menggunakan luas tulangan minimum dari perhitungan sebelumnya sehingga digunakan  $A_{S_{min}}$  sebagai luas tulangnya. Setelah luas tulangan ditentukan, selanjutnya dihitung luas tulangan terpasang dengan memakai rumus sebagai berikut :

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

Setelah mendapatkan luas tulangan terpasang, selanjutnya menghitung jarak tulangan terpakai dengan rumus sebagai berikut :

$$S_{pakai} = \frac{b \times A_{st}}{A_{spakai}}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Strktural Untuk Bangunan Gedung pasal 8.7.2.2 jarak spasi tulangan ulir maksimum untuk pelat lantai solid nonprategang adalah terkecil dari 2h.

Maka berdasarkan analisis di atas diperoleh rincian perhitungan tulangan susut sebagai berikut :

**Tabel 2. 10** Tulangan Susut Arah X

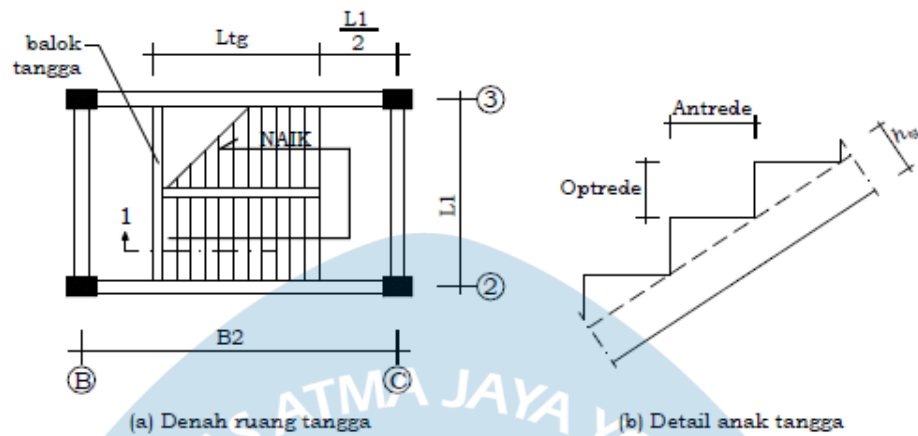
| Pelat | Tulangan Arah X |             |           |         |             |            |                     |          |     |         |              |                   |   | CEK |     |           |
|-------|-----------------|-------------|-----------|---------|-------------|------------|---------------------|----------|-----|---------|--------------|-------------------|---|-----|-----|-----------|
|       | dx              | Mnx         | Rn        | m       | $\rho$      | $\rho$ min | $\rho$ yg digunakan | As perlu | s   | s pakai | As terpasang | Dipasang tulangan |   |     |     |           |
|       | mm              | N.mm        |           |         |             |            |                     | mm       | mm  |         | mm           |                   |   |     |     |           |
| A     | 96              | 6809040.000 | 0.7388281 | 19.7647 | 0.001790807 | 0,0014     | 0.002               | 192      | 600 | 200     | 251.327412   | D                 | 8 | -   | 200 | <b>OK</b> |
| B     | 96              | 5002560.000 | 0.5428125 | 19.7647 | 0.001309353 | 0,0014     | 0.002               | 192      | 600 | 200     | 251.327412   | D                 | 8 | -   | 200 | <b>OK</b> |
| C     | 96              | 2978955.000 | 0.3232373 | 19.7647 | 0.000775557 | 0,0014     | 0.002409            | 231.264  | 600 | 200     | 251.327412   | D                 | 8 | -   | 200 | <b>OK</b> |
| D     | 96              | 1552183.200 | 0.1684227 | 19.7647 | 0.000403    | 0,0014     | 0.002               | 192      | 600 | 200     | 251.327412   | D                 | 8 | -   | 200 | <b>OK</b> |

**Tabel 2. 11** Tulangan Susut Arah Y

| Pelat | Tulangan Arah Y |             |             |         |             |            |                     |          |     |         |              |                   |   | CEK |     |           |
|-------|-----------------|-------------|-------------|---------|-------------|------------|---------------------|----------|-----|---------|--------------|-------------------|---|-----|-----|-----------|
|       | dx              | Mnx         | Rn          | m       | $\rho$      | $\rho$ min | $\rho$ yg digunakan | As perlu | s   | s pakai | As terpasang | Dipasang tulangan |   |     |     |           |
|       | mm              | N.mm        |             |         |             |            |                     | mm       | mm  |         | mm           |                   |   |     |     |           |
| A     | 88              | 5002560.000 | 0.645991736 | 19.7647 | 0.001562193 | 0,0014     | 0.002               | 176      | 600 | 200     | 251.327412   | D                 | 8 | -   | 200 | <b>OK</b> |
| B     | 88              | 5002560.000 | 0.645991736 | 19.7647 | 0.001562193 | 0,0014     | 0.002               | 176      | 600 | 200     | 251.327412   | D                 | 8 | -   | 200 | <b>OK</b> |
| C     | 88              | 3211520.000 | 0.414710744 | 19.7647 | 0.000997234 | 0,0014     | 0.002417            | 212.696  | 600 | 200     | 251.327412   | D                 | 8 | -   | 200 | <b>OK</b> |
| D     | 88              | 9305996.800 | 1.201704132 | 19.7647 | 0.002947028 | 0,0014     | 0.002308            | 203.104  | 600 | 200     | 251.327412   | D                 | 8 | -   | 200 | <b>OK</b> |

## 2.7 Perencanaan Tangga

### 2.7.1 Preliminary Design Tangga



**Gambar 2. 16** Perencanaan Tangga

Diketahui :

- Tinggi lantai ( $h_{lt}$ ) = 3500 mm
- Panjang ruang tangga ( $B2$ ) = 7250 mm
- $L1$  = 2000 mm
- Tinggi Anak Tangga ( $Optrede$ ) = 175mm
- Lebar Anak Tangga ( $Antrade$ ) = 250mm

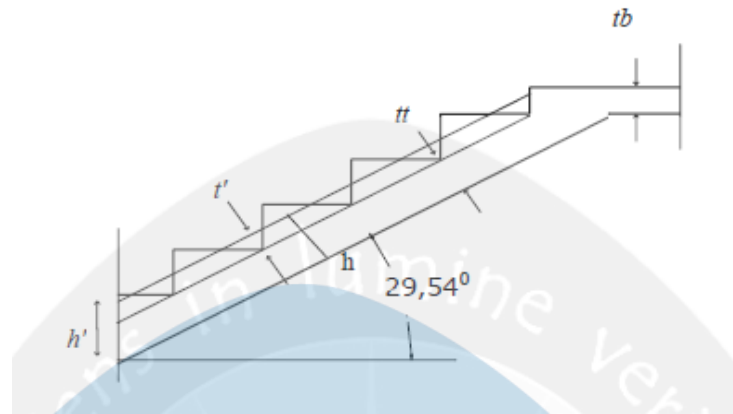
$$\text{Jumlah anak tangga} = \frac{\text{Tinggi lantai}}{O} = \frac{3500}{175} = 20 \text{ anak tangga}$$

$$\text{Lebar bordes} \left( \frac{L1}{2} \right) = \frac{2000}{2} = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Kemiringan tangga } (\alpha) = \tan^{-1} \left( \frac{O}{A} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{175}{250} \right) = 35^\circ$$

$$\text{Lebar tangga } (l_{tg}) = \left( \frac{1}{2} \times \frac{h_{lt}}{O} - 1 \right) A = \left( \frac{1}{2} \times \frac{3500}{175} - 1 \right) 250 = 2250 \text{ mm}$$

Digunakan tebal pelat tangga ( $h_{tg}$ ) = Tebal bordes ( $h_b$ ) = 120 mm



**Gambar 2. 17** Tangga Tampak Samping

$$t' = \frac{(0,5 \times 0 \times A)}{\sqrt{0^2 + A^2}} = \frac{(0,5 \times 175 \times 250)}{\sqrt{175^2 + 250^2}} = 51,4705 \text{ mm}$$

$$h = t_b + t' = 120 + 51,4705 = 171,4705 \text{ mm}$$

### 2.7.2 Pembebanan Tangga

#### 1. Beban Mati (*Dead Load*)

**Tabel 2. 12** Beban Mati Tangga (*Dead Load*)

| Macam Pembebanan                      | B. Vol<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | Tebal (m) | B. Mati (kN/m) |
|---------------------------------------|--------------------------------|-----------|----------------|
| <i>Self Weight</i>                    |                                |           |                |
| Berat Sendiri Tangga                  | 24,00                          | 0,12      | 3,515          |
| Berat Anak Tangga                     | 24,00                          | 0,09      | 2,1            |
| <b>Total</b>                          |                                |           | 5,825          |
| <i>SIDL (Super Impuls Death Load)</i> |                                |           |                |
| Berat Ubin & Spesi                    | 21,00                          | 0,05      | 1,05           |
| Berat Railling<br>(diasumsikan)       |                                |           | 1,00           |
| <b>Total</b>                          |                                |           | 2,05           |

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| <b>Total Beban Mati, WDL</b> | <b>7,875</b> |
|------------------------------|--------------|

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Sesuai dengan SNI 1727-2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Bangunan Gedung dan Struktur Lain, Hal 28 yakni beban hidup untuk ruang publik.

**Tabel 2. 13** Beban Hidup Tangga (Live Load)

| <b>Macam Pembebanan</b>       | <b>B. Vol<br/>(kN/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Tebal (m)</b> | <b>B. Mati (kN/m)</b> |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------------|
| <b>Self Weight</b>            |                                      |                  |                       |
| <i>Tangga</i>                 |                                      |                  | 4,79                  |
| <b>Total</b>                  |                                      |                  | 4,79                  |
| <b>Total Beban Hidup (LL)</b> |                                      |                  | <b>4,79</b>           |

**2.7.3 Pembebanan Bordes Tangga**

1. Beban Mati (*Dead Load*)

**Tabel 2. 14** Beban Mati Bordes Tangga (Dead Load)

| <b>Macam Pembebanan</b>                | <b>B. Vol<br/>(kN/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Tebal (m)</b> | <b>B. Mati (kN/m)</b> |
|--|--------------------------------------|------------------|-----------------------|
| <b>Self Weight</b>                     |                                      |                  |                       |
| Berat Sendiri Tangga                   | 24,00                                | 0,12             | 2,88                  |
| <b>Total</b>                           |                                      |                  | 2,88                  |
| <b>SIDL (Super Impuls Death Load)</b>  |                                      |                  |                       |
| Berat Ubin & Spesi                     | 21,00                                | 0,05             | 1,05                  |
| Berat <i>Railling</i><br>(diasumsikan) |                                      |                  | 1,00                  |
| <b>Total</b>                           |                                      |                  | 2,05                  |
| <b>Total Beban Mati, WDL</b>           |                                      |                  | <b>4,93</b>           |



2. Beban Hidup (*Live Load*)

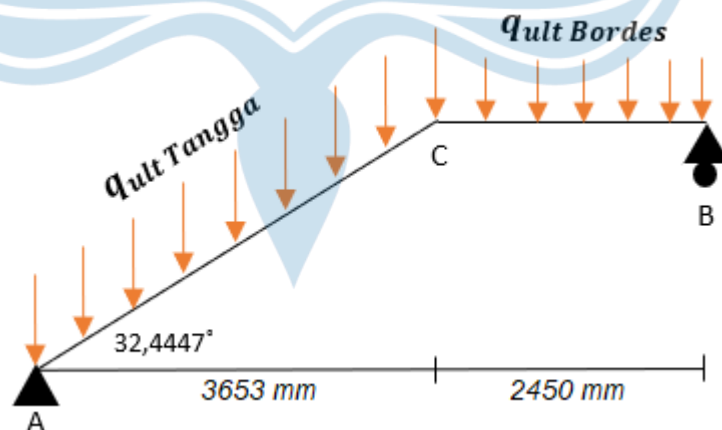
Sesuai dengan SNI 1727-2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Bangunan Gedung dan Struktur Lain, Hal 28 yakni beban hidup untuk ruang publik.

**Tabel 2. 15** Beban Hidup Tangga (Live Load)

| <i>Macam Pembebanan</i>       | <i>B. Vol (kN/m<sup>3</sup>)</i> | <i>Tebal (m)</i> | <i>B. Mati (kN/m)</i> |
|-------------------------------|----------------------------------|------------------|-----------------------|
| <i>Self Weight</i>            |                                  |                  |                       |
| <i>Tangga</i>                 |                                  |                  | 4,79                  |
| <i>Total</i>                  |                                  |                  | 4,79                  |
| <i>Total Beban Hidup (LL)</i> |                                  |                  | <b>4,79</b>           |

ii. Menghitung Reaksi Tumpuan

- $q_{ult} \text{ Tangga} = 1,2 q_{DL} + 1,6q_{LL}$   
= 24,72 kNm
- $q_{ult} \text{ Bordes} = 1,2 q_{DL} + 1,6q_{LL}$   
= 28,75 kNm



**Gambar 2. 18** Reaksi Tumpuan Tangga dan Bordes

### iii. Menghitung Tulangan Lentur Tangga

#### 1. Penulangan Lentur Tangga Daerah Tumpuan

Dengan menggunakan bantuan *software* ETABS 18 didapatkan momen maksimum pada tangga sebesar,  $M_{max} = 44,4485 \text{ kNm}$ .

$$Mu^- = \frac{1}{2}(24,72) = 12,36 \text{ kNm} = 12360000 \text{ Nmm}$$

$$M_R = M_{n \text{ Perlu}} = \frac{Mu}{\Phi} = \frac{12360000}{0,9} = 13733333 \text{ Nmm}$$

Dikarenakan  $f_c' = 25 \text{ mPa}$  maka untuk mencari nilai  $\beta_1$  digunakan :

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 25}{420} \times 0,85 \times \left( \frac{600}{600 \times 420} \right) = 1,02395125 \times 10^{-4}$$

$$\rho_{Max} = 0,75 \times 1,02395125 \times 10^{-4} = 7,2395$$

$$\text{Tinggi Efektif (d)} = h - s - \frac{\emptyset}{2} = 195,1080 - 20 - \frac{13}{2} = 168,6080 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_{n \text{ Perlu}}}{b \cdot d^2} = 1,570915192$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'} \right)} \right)$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = 0,00389$$

$$\rho_{\text{Min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033 \quad \text{atau} \quad \rho_{\text{Min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{25}}{4(420)} = 0,003$$

Digunakan  $\rho_{\text{Min}}$  dengan nilai terbesar dari kedua rumus tersebut, maka digunakan sebesar = 0,0033

Dikarenakan  $\rho_{\text{Max}} > \rho_{\text{Perlu}} > \rho_{\text{Min}}$  maka untuk menghitung luas tulangan perlu digunakan rasio penulangan minimal ( $\rho_{\text{perlu}}$ ).

$$As_{\text{perlu}} = As_{\text{min}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$= 363.696 \text{ mm}^2$$

Penulangan lentur tumpuan pelat direncanakan menggunakan tulangan ulir D13, selanjutnya menentukan bahwa tulangan D13 layak untuk digunakan.

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan (S)} &= \frac{b \times \text{luas tulangan}}{\text{As perlu}} \\ &= 222,2404 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D13-200**

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{b \times \text{luas tulangan}}{S} \\ &= \frac{1000 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2}{200} \\ &= 663,6615 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan As pakai > As perlu maka tulangan lentur lapangan **D13-200** aman untuk digunakan.

## 2. Penulangan Lentur Tangga Daerah Lapangan

Dengan menggunakan bantuan *software* ETABS 18 didapatkan momen maksimum pada tangga sebesar,  $M_{\max} = 44,4485 \text{ kNm}$ .

$$M_u^+ = 0,8 (24,73) = 19,776 \text{ kNm} = 19776000 \text{ Nmm}$$

$$M_R = M_{n \text{ Perlu}} = \frac{M_u}{\Phi} = \frac{19776000}{0,9} = 21973333,33 \text{ Nmm}$$

Dikarenakan  $f_c' = 25 \text{ mPa}$  maka untuk mencari nilai  $\beta_1$  digunakan persamaan berikut :

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 25}{420} \times 0,85 \times \left( \frac{600}{600 \times 420} \right) = 1.02395125 \times 10^{-4}$$

$$\rho_{Max} = 0,75 \times 1.02395125 \times 10^{-4} = 7.2395$$

$$\text{Tinggi Efektif } (d) = h - s - \frac{\emptyset}{2} = 195,1080 - 20 - \frac{13}{2} = 168,6080 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n \text{ Perlu}}{b \cdot d^2} = 2.513464306$$

$$\rho_{Perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'} \right)} \right)$$

$$\rho_{Perlu} = 0,00639$$

$$\rho_{Min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033 \quad \text{atau} \quad \rho_{Min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{25}}{4(420)} = 0,003$$

Digunakan  $\rho_{Min}$  dengan nilai terbesar dari kedua rumus tersebut, maka digunakan sebesar = 0,0033

Dikarenakan  $\rho_{Max} > \rho_{Perlu} > \rho_{Min}$  maka untuk menghitung luas tulangan perlu digunakan rasio penulangan minimal ( $\rho_{perlu}$ ).

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \text{As min} = \rho_{perlu} \times b \times d \\ &= 597,246 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Penulangan lentur tumpuan pelat drencanakan menggunakan tulangan ulir D13, selanjutnya menentukan bahwa tulangan D13 layak untuk digunakan.

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan } (S) &= \frac{b \times \text{luas tulangan}}{\text{As perlu}} \\ &= 222.2404661 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D13-200**

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{b \times \text{luas tulangan}}{S} \\ &= 663,6615 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan  $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$  maka tulangan lentur lapangan **D13-200** aman untuk digunakan.

#### iv. Perhitungan Penulangan Susut Tangga

Perhitungan penulangan susut menggunakan rasio penulangan minimal dan direncanakan dengan tulangan D8.

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= \rho_{\text{Min}} \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 1000 \times 96 \\ &= 316,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ min} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 192 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan (S)} &= \frac{b \times \text{luas tulangan}}{A_s \text{ min}} \\ &= 261,7993878 \text{ mm} \end{aligned}$$

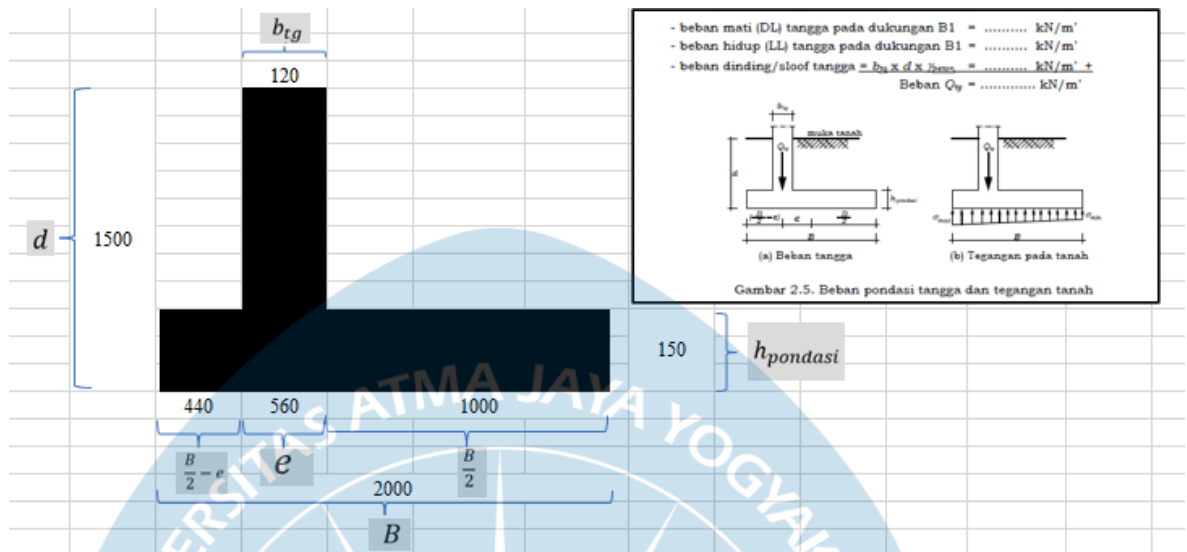
Digunakan tulangan **D8-200**

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{b \times \text{luas tulangan}}{S} \\ &= 251,3274123 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan  $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$  maka tulangan susut **D8-200** aman untuk digunakan.

## b. Perencanaan Fondasi Tangga

### i. Preliminary Design Fondasi Tangga



Gambar 2. 19 Fondasi Tangga

### ii. Pembebanan Fondasi Tangga

1. Beban mati (DL) tangga pada dukungan B1  $\times 1,2$  = 9.1986kN/m'
  2. Beban hidup (LL) tangga pada dukungan B1  $\times 1,6$  = 7,68 kN/m'
  3. Beban dinding/sloof tangga,  $b_{tg} \times d \times \gamma_{beton} \times 1,2$  = 5.184kN/m' +
- 
- Beban  $Q_{u_{tg}}$  = 22.0626 kN/m'

### iii. Menghitung Tegangan Tanah, Momen Rencana dan Geser Rencana

Diketahui :

- $\gamma_{beton}$  = 14,808 kN/m<sup>3</sup>
- $\gamma_{tanah}$  = 24,000 kN/m<sup>3</sup>
- $\sigma_{tanah}$  = 114,2 kN/m<sup>3</sup> (Dari data SONDIR)

Langkah selanjutnya adalah menghitung tegangan tanah netto, tegangan maksimum, tegangan minimum, momen rencana serta geser rencana.

#### a. Tegangan Tanah Netto

$$\overline{\sigma}_{netto} = \overline{\sigma}_{tanah} - (d - h_{fondasi}) (\gamma_{tanah}) - h_{fondasi} (\gamma_{fondasi})$$

$$\overline{\sigma}_{netto} = 56,138 \text{ kN/m}^2$$

b. Tegangan Maksimum

$$\sigma_{\max} = \frac{Q_{u_{tg}}}{B} + 6 \frac{Q_{u_{tg}}(e)}{B^2} \leq \sigma_{\text{netto}}$$

$$\sigma_{\max} = 11,546086 \text{ kN/m}^2 \leq 56,136 \text{ kN/m}^2$$

c. Tegangan Minimum

$$\sigma_{\min} = \frac{Q_{u_{tg}}}{B} - 6 \frac{Q_{u_{tg}}(e)}{B^2} \geq 0$$

$$\sigma_{\min} = 10,5165 \text{ kN/m}^2 \geq 0$$

d. Momen Rencana

$$M_u = \frac{1}{2} \frac{(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})}{2} \left( \frac{B}{2} + e - \frac{1}{2} b_{tg} \right)^2$$

$$M_u = 5,515646 \text{ kNm}$$

e. Geser Rencana

$$V_u = \frac{1}{2} \frac{(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})}{2} \left( \frac{B}{2} + e - \frac{1}{2} b_{tg} \right)$$

$$V_u = \frac{1}{2} \frac{(22,1407 + 19,8101)}{2} \left( \frac{1,2}{2} + 0,4 - \frac{1}{2} 0,2 \right)$$

$$V_u = 5,515646 \text{ kN}$$

#### iv. Menghitung Penulangan Lentur Fondasi

Setelah menghitung momen rencana dan geser rencana, langkah berikutnya adalah menghitung tulangan lentur pada fondasi tangga.

$$M_u = 5,515646405 \text{ kNm} = 5515646,405 \text{ Nmm}$$

$$M_R = M_{n \text{ Perlu}} = \frac{M_u}{\phi} = 4964081,765 \text{ Nmm}$$

Dikarenakan  $f_c' = 25 \text{ mPa}$  maka untuk nilai  $\beta_1$  digunakan :

$$\beta_1 = 0,85$$

**Tabel 22.2.2.4.3 – Nilai  $\beta_1$  untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen**

| $f_c', \text{ MPa}$    | $\beta_1$ |    |
|------------------------|-----------|----|
| $17 \leq f_c' \leq 28$ | 0,85      | a) |

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 255}{420} \times 0,85 \times \left( \frac{600}{600 \times 420} \right) = 0,02529762$$

$$\rho_{\text{Max}} = 0,75 \times 0,02529762 = 0,018973$$

$$d \geq \frac{6 \cdot Vu}{\sqrt{f'c} \cdot b_w} = \frac{6 \times 5,515646 \times 10^4}{\sqrt{25} \cdot 2000} = 148,00032 \text{ mm}$$

Sehingga direncanakan  $d = 160 \text{ mm}$ , maka  $h = d + \text{Selimut Beton} = 160 + 40 = 200 \text{ mm}$

$$R_n = \frac{M_n \text{ Perlu}}{b \cdot d^2} = 0,0969547$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{0,85 \cdot f'c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'c'} \right)} \right)$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{0,85 \times 25}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 0,0969547}{0,85 \times 25} \right)} \right) = 0,00023$$

$$\rho_{\text{Min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033 \quad \text{atau} \quad \rho_{\text{Min}} = \frac{\sqrt{f'c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{25}}{4(420)} = 0,0030$$

Digunakan  $\rho_{\text{Min}}$  dengan nilai terbesar dari kedua rumus tersebut, maka digunakan sebesar  $= 0,0033$

Dikarenakan  $\rho_{\text{Max}} > \rho_{\text{Perlu}} < \rho_{\text{Min}}$  maka untuk menghitung luas tulangan perlu digunakan rasio penulangan minimal ( $\rho_{\text{Min}}$ ).

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \text{As min} = \rho_{\text{Min}} \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 2000 \times 200 \\ &= 1333,333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Penulangan lentur tumpuan pelat direncanakan menggunakan tulangan ulir D13, selanjutnya menentukan bahwa tulangan D13 layak untuk digunakan.



$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan (S)} &= \frac{b \times \text{luas tulangan}}{\text{As perlu}} \\ &= \frac{2000 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}{1333.333} \\ &= 199.0984 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D13-180**

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{b \times \text{luas tulangan}}{S} \\ &= \frac{2000 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}{180} \\ &= 1474.8032 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan As pakai > As perlu maka tulangan lentur lapangan **D13-200** aman untuk digunakan

**v. Kontrol Geser**

$$V_u = 5,5156446 \text{ kN} = 5515,6464 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 333333,3 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 333333,3 = 250000 \text{ N}$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$250000 \geq 5515,6464$$

Karena geser rencana kurang dari geser tereduksi maka fondasi tidak memerlukan tulangan geser.

## 2.8 Perencanaan Balok

### Input Data Balok

#### Geometri Balok

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| Lebar Balok (b)          | = 300 mm  |
| Tinggi Balok (h)         | = 500 mm  |
| Panjang Balok (L)        | = 4000 mm |
| Selimut Bersih ( $C_c$ ) | = 40 mm   |
| Panjang Kolom ( $C_1$ )  | = 400 mm  |
| Lebar kolom ( $C_2$ )    | = 400 mm  |

#### Material

|   |           |
|---|-----------|
| Kuat tekan beton ( $f_c'$ )                     | = 25 Mpa  |
| Kuat leleh baja tulangan longitudinal ( $f_y$ ) | = 420 Mpa |
| Kuat leleh baja transversal ( $f_{yt}$ )        | = 280 Mpa |

#### Diameter Tulangan

|  |         |
|--|---------|
| Diameter Tulangan Longitudinal ( $d_b$ ) | = 16 mm |
| Diameter Tulangan Pinggang ( $d_{bx}$ )  | = 10 mm |
| Diameter Tulangan Sengkang ( $d_s$ )     | = 10 mm |

#### Jumlah Tulangan Longitudinal

##### a. Daerah Tumpuan

|  |     |
|--|-----|
| Jumlah Tulangan Atas (Balok Sisi Kiri) ( $n_{ts1}$ )   | = 5 |
| Jumlah Tulangan Bawah (Balok Sisi Kiri) ( $n_{bs1}$ )  | = 4 |
| Jumlah Tulangan Atas (Balok Sisi Kanan) ( $n_{ts1}$ )  | = 5 |
| Jumlah Tulangan Bawah (Balok Sisi Kanan) ( $n_{bs1}$ ) | = 4 |

##### b. Lapangan

|   |     |
|---|-----|
| Jumlah Tulangan Atas (Balok Sisi Kiri) ( $n_{tm1}$ )  | = 3 |
| Jumlah Tulangan Bawah (Balok Sisi Kiri) ( $n_{bm1}$ ) | = 4 |

Jumlah pasang tulangan pinggang ( $n_t$ ) = 1 pasang

#### Tulangan Transversal/Sengkang

|   |          |
|---|----------|
| Jumlah kaki tulangan sengkang tumpuan ( $n_{vs}$ )  | = 2 kaki |
| Jumlah kaki tulangan sengkang lapangan ( $n_{vm}$ ) | = 2 kaki |
| Spasi Sengkang tumpuan ( $s_s$ )                    | = 50 mm  |
| Spasi Sengkang lapangan ( $s_m$ )                   | = 100 mm |

### Gaya Dalam

|                                    |                |               |
|------------------------------------|----------------|---------------|
| Momen Negatif Tumpuan Kanan        | $M_{u,tum(-)}$ | = 82,6748 Knm |
| Momen Positif Tumpuan Kanan        | $M_{u,tum(+)}$ | = 41,3374 Knm |
| Momen Negatif Lapangan             | $M_{u,lap(-)}$ | = 39,062 Knm  |
| Momen Positif Lapangan             | $M_{u,lap(+)}$ | = 78,124 Knm  |
| Momen Negatif Tumpuan Kiri         | $M_{u,tum(-)}$ | = 93,882 Knm  |
| Momen Positif Tumpuan Kiri         | $M_{u,tum(+)}$ | = 46,941 Knm  |
| Gaya geser gravitasi tumpuan kanan | $V_{g,kanan}$  | = 87,2813 kN  |
| Gaya geser gravitasi tumpuan kiri  | $V_{g,kiri}$   | = 123,218 kN  |
| Torsi                              | $(T_s)$        | = 51,8273 kNm |
| Gaya Aksial                        | $(P_u)$        | = 8,4607 kN   |

### Parameter Material dan Geometri

#### Faktor Material Beton

$$\beta_1 = 0,65 \leq 0,85 - \frac{f'c - 28}{7} \leq 0,85$$

$$\beta_1 = 0,65 \leq 0,85 - \frac{420}{200000} \leq 0,85$$

$$= 0,80$$

#### Regangan Leleh Baja Tulangan (Epsilon)

$$\epsilon_{sy} = \frac{f_y}{E_s} = \frac{420}{200000}$$

$$\epsilon_{sy} = 0,002$$

Maka didapat tegangan leleh sebesar 0,002

#### Tinggi Efektif Balok

$$d = h - cc - ds - \frac{db}{2}$$

$$d = h - cc - ds - \frac{db}{2}$$

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{16}{2}$$

$$d = 442 \text{ mm}$$

### Panjang Bersih Balok

$$L_n = L - \frac{c1}{2} - \frac{c2}{2}$$

$$L_n = 4000 - \frac{400}{2} - \frac{400}{2}$$

$$L_n = 3600 \text{ mm}$$

### Jarak Beton Terluar ke Tulangan Utama

$$d_s = cc + ds + \frac{db}{2}$$

$$d_s = 40 + 10 + \frac{16}{2}$$

$$d_s = 58 \text{ mm}$$

### Syarat Gaya Aksial

$$= Pu \times 1000 \leq 0,1 \times b \times h \times fc'$$

$$= 8,4607 \times 1000 \leq 0,1 \times 300 \times 500 \times 25$$

$$= 8460,7 \leq 375000$$

### Bentang Bersih Minimum

$$L_{n,min} = 4 \times d$$

$$L_{n,min} = 4 \times 442$$

$$L_{n,min} = 1768 \text{ mm} < 3600 \text{ mm} \quad OK$$

**Syarat Lebar Minimum**

$$b_{wmin,1} = 0,3 \times h$$

$$b_{wmin,1} = 0,3 \times 500$$

$$b_{wmin,1} = 150 \text{ mm}$$

$$b_{wmin,2} = 150 \text{ mm}$$

$$b_{min} = \min (b_{wmin,1} ; b_{wmin,2})$$

$$b_{min} = \min (150 ; 150)$$

$$b_{min} = 150 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

**Syarat Lebar Maksimum**

$$b_{max,1} = c2 + 2 \times c1$$

$$b_{max,1} = 400 + 2 \times 400$$

$$b_{max,1} = 1200 \text{ mm}$$

$$b_{max,2} = c2 + 2 \times 0,75 \times c1$$

$$b_{max,2} = 400 + 2 \times 0,75 \times 400$$

$$b_{max,2} = 1000 \text{ mm}$$

$$b_{max} = \max (b_{max,1} ; b_{max,2})$$

$$b_{max} = \max (1200 ; 1000)$$

$$b_{max} = 1200 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

**Tinggi Minimum Balok Non Prategang**

| Kondisi Perletakan        | Minimum (h) |
|---------------------------|-------------|
| Perletakan sederhana L/16 | 0,0250 m    |

Panjang Balok         L     = 4000 mm  
                                       = 250 mm

## Desain Lentur

### 2.8.1 Momen Negatif Tumpuan Kanan (Tulangan Tumpuan Atas)

Jumlah Tulangan              $n_{ts1} = 5 \cdot \emptyset 16$

Jarak Bersih Tulangan  $S_{L1} = 30$  mm

Luas Tulangan Total          $A_{st} = 1005,3096 \text{ mm}^2$

$$R_n = k = \frac{M_n}{b \times d^2} + \frac{Mu, \text{tum}(-)}{\Phi \times b \times d^2}$$

$$R_n = k = \frac{M_n}{b \times d^2} + \frac{82674800}{0,9 \times 300 \times 195364}$$

$$R_n = 1,5673$$

#### Rasio Luas Tulangan

$$\rho_{(\text{rho})} = \frac{A_{st}}{b \times d} = \frac{1005,3096}{300 \times 442} = 0,76 \%$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'} \right)} \right) = 0,0036 = 0,36 \%$$

#### Rasio Tulangan Maksimum

$$\rho_{\text{Max}} = 2,5\% > 0,76\% \quad OK$$

#### Luas Tulangan Minimum Lentur

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

$$A_{s, \text{min}1} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \times 300 \times 442$$

$$A_{s, \text{min}1} = 394,643 \text{ mm}^2$$

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

$$A_{s,\min 2} = \frac{1,4}{420} \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\min 2} = 442 \text{ mm}^2$$

$$= 442 \text{ mm}^2 < 1005,3096 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\max} = \rho_{\max} \times b \times d$$

$$A_{s,\max} = 2,50\% \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\max} = 3315 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s,\text{perlu}} = 0,0036 \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\text{perlu}} = 481,420 \text{ mm}^2$$

**Tulangan Terpasang (n Total)**

$$= \frac{A_{s,\text{perlu}}}{0,25 \times \text{phi} \times db^2}$$

$$= \frac{481,420}{0,25 \times 3,14 \times 256}$$

$$= 2,39 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 0,25 \times \text{phi} \times db^2 \times n_{\text{total}}$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 0,25 \times 3,14 \times 256 \times 5$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 1005,3096 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{A_{s,\text{Aktual}}}{b \times d}$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{v}{300 \times 442}$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = 0,013$$

### Faktor Reduksi Tulangan

$$\phi = 0,65 < 0,65 + 0,65 \frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,65 < 0,65 + 0,65 \frac{0,0036 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,900$$

### Tinggi Blok Beton

$$a = \frac{A_{st} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{1005,3096 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$a = 66,232 \text{ mm}$$

### Tinggi Daerah Tekan Beton

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{66,232}{0,85} = 77,92 \text{ mm}$$

### Regangan Tulangan terluar

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

$$\varepsilon_{st} = \frac{442 - 77,92}{77,92} \times 0,003$$

$$\varepsilon_{st} = 0,014 > 0,005 \quad OK$$

### Kapasitas Momen



$$\Phi M_n = \Phi \times A_{st,1} \times f_y \times \left( d_1 - \frac{a}{2} \right)$$

$$\Phi M_n = \Phi \times A_{st,2} \times f_y \times \left( d_2 - \frac{a}{2} \right)$$

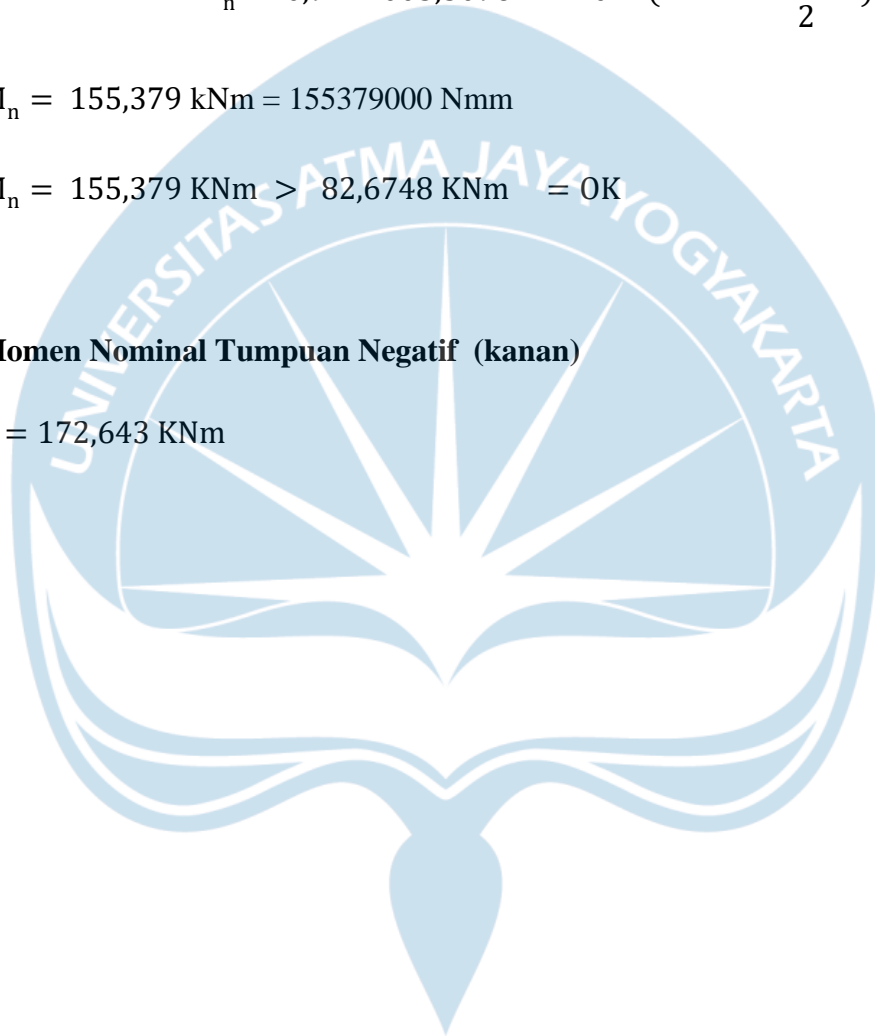
$$\Phi M_n = 0,9 \times 1005,3096 \times 420 \times \left( 442 - \frac{66,232}{2} \right)$$

$$\Phi M_n = 155,379 \text{ kNm} = 155379000 \text{ Nmm}$$

$$\Phi M_n = 155,379 \text{ kNm} > 82,6748 \text{ kNm} = \text{OK}$$

#### **Momen Nominal Tumpuan Negatif (kanan)**

$$M_n = 172,643 \text{ kNm}$$



## Desain Lentur

### 2.8.2 Momen Positif Tumpuan Kanan (Tulangan Tumpuan Bawah)

$$\text{Jumlah Tulangan} \quad n_{ts1} = 4 \cdot \emptyset 16$$

$$\text{Jarak Bersih Tulangan } S_{L1} = 45,33 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Tulangan Total} \quad A_{st} = 804,248 \text{ mm}^2$$

$$R_n = k = \frac{M_n}{b \times d^2} + \frac{Mu, tum(+)}{\Phi \times b \times d^2}$$

$$R_n = k = \frac{M_n}{b \times d^2} + \frac{41337000}{0,9 \times 300 \times 195364}$$

$$R_n = 0,78$$

#### Rasio Luas Tulangan

$$\rho_{(rho)} = \frac{A_{st}}{b \times d} = \frac{804,248}{300 \times 442} = 0,61 \%$$

$$\rho_{Perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'} \right)} \right) = 0,0018 = 0,18 \%$$

#### Rasio Tulangan Maksimum

$$\rho_{Max} = 2,5\% > 0,61\% \quad OK$$

#### Luas Tulangan Minimum Lentur

$$A_{s,min1} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$A_{s,min1} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \times 300 \times 442$$

$$A_{s,min1} = 394,643 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min2} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$A_{s,\min 2} = \frac{1,4}{420} \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\min 2} = 442 \text{ mm}^2$$

$$= 442 \text{ mm}^2 < 804,248 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\max} = \rho_{\max} \times b \times d$$

$$A_{s,\max} = 2,50\% \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\max} = 3315 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s,\text{perlu}} = 0,0018 \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\text{perlu}} = 238,68 \text{ mm}^2$$

**Tulangan Terpasang (n Total)**

$$= \frac{A_{s,\text{perlu}}}{0,25 \times \text{phi} \times db^2}$$

$$= \frac{238,68}{0,25 \times 3,14 \times 256}$$

$$= 1,2 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 0,25 \times \text{phi} \times db^2 \times n_{\text{total}}$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 0,25 \times 3,14 \times 256 \times 4$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 804,248 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{A_{s,\text{Aktual}}}{b \times d}$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{v}{300 \times 442}$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = 0,0061 = 0,61\%$$

### Faktor Reduksi Tulangan

$$\phi = 0,65 < 0,65 + 0,65 \frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,65 < 0,65 + 0,65 \frac{0,0036 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,900$$

### Tinggi Blok Beton

$$a = \frac{A_{st} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{804,248 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$a = 52,986 \text{ mm}$$

### Tinggi Daerah Tekan Beton

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{52,986}{0,85} = 62,336 \text{ mm}$$

### Regangan Tulangan terluar

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

$$\varepsilon_{st} = \frac{442 - 62,336}{62,336} \times 0,003$$

$$\varepsilon_{st} = 0,018 > 0,005 \quad OK$$

### Kapasitas Momen

$$\Phi M_n = \Phi \times A_{st,1} \times f_y \times \left( d_1 - \frac{a}{2} \right)$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times 804,248 \times 420 \times \left( 442 - \frac{52,986}{2} \right)$$

$$\Phi M_n = 140,352 \text{ kNm} = 140352000 \text{ Nmm}$$

$$\Phi M_n = 140,352 \text{ KNm} > 41,337 \text{ KNm} = \text{OK}$$

**Momen Nominal Tumpuan Positif (kanan)**

$$M_n = 140,352 \text{ KNm}$$



### 2.8.3 Momen Negatif Lapangan (Tulangan Lapangan Atas)

Jumlah Tulangan  $n_{ts1} = 3 \cdot \emptyset 16$

Jarak Bersih Tulangan  $S_{L1} = 76 \text{ mm}$

Luas Tulangan Total  $A_{st} = 603,186 \text{ mm}^2$

$$R_n = k = \frac{M_n}{b \times d^2} + \frac{Mu, lap(-)}{\Phi \times b \times d^2}$$

$$R_n = k = \frac{M_n}{b \times d^2} + \frac{39062000}{0,9 \times 300 \times 195364}$$

$$R_n = 0,74$$

#### Rasio Luas Tulangan

$$\rho_{(rho)} = \frac{A_{st}}{b \times d} = \frac{603,186}{300 \times 442} = 0,45 \%$$

$$\rho_{Perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'} \right)} \right) = 0,0017$$

#### Rasio Tulangan Maksimum

$$\rho_{Max} = 2,500\% > 0,45\% \quad OK$$

#### Luas Tulangan Minimum Lentur

$$A_{s,min1} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$A_{s,min1} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \times 300 \times 442$$

$$A_{s,min1} = 394,643 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min2} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$A_{s,min2} = \frac{1,4}{420} \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\min 2} = 110,5 \text{ mm}^2$$

$$= 394,643 \text{ mm}^2 < 603,186 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s,\max} = \rho_{\max} \times b \times d$$

$$A_{s,\max} = 2,50\% \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\max} = 3315 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s,\text{perlu}} = 0,0017 \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\text{perlu}} = 220,322 \text{ mm}^2$$

#### **Tulangan Terpasang (n Total)**

$$= \frac{A_{s,\text{perlu}}}{0,25 \times \text{phi} \times db^2}$$

$$= \frac{220,322}{0,25 \times 3,14 \times 256}$$

$$= 1,095 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 0,25 \times \text{phi} \times db^2 \times n_{\text{total}}$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 0,25 \times 3,14 \times 256 \times 3$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{A_{s,\text{Aktual}}}{b \times d}$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{603,186}{300 \times 442}$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = 0,0045$$

**Faktor Reduksi Tulangan**

$$\phi = 0,65 < 0,65 + 0,65 \frac{\epsilon_{st} - \epsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,65 < 0,65 + 0,65 \frac{0,018 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,900$$

**Tinggi Blok Beton**

$$a = \frac{A_{st} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{603,186 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$a = 39,739 \text{ mm}$$

**Tinggi Daerah Tekan Beton**

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{39,739}{0,850} = 46,752 \text{ mm}$$

**Regangan Tulangan terluar**

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

$$\epsilon_{st} = \frac{442 - 46,752}{46,752} \times 0,003$$

$$\epsilon_{st} = 0,025 > 0,005 \quad OK$$

**Kapasitas Momen**

$$\phi M_n = \phi \times A_{st} \times f_y \times \left( d_1 - \frac{a}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 603,186 \times 420 \times \left( 442 - \frac{39,739}{2} \right)$$



$$\Phi M_n = 96,248 \text{ kNm} = 96248000 \text{ Nmm}$$

$$\Phi M_n = 96,248 \text{ kNm} > 39,062 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

### **Momen Nominal Lapangan Negatif**

$$M_n = 140,352 \text{ kNm}$$



## Desain Lentur

### 2.8.4 Momen Positif Lapangan (Tulangan Lapangan Bawah)

$$\text{Jumlah Tulangan} \quad n_{ts1} = 4 \cdot \emptyset 16$$

$$\text{Jarak Bersih Tulangan} \quad S_{L1} = 45,33 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Tulangan Total} \quad A_{st} = 804,248 \text{ mm}^2$$

$$R_n = k = \frac{M_n}{b \times d^2} + \frac{Mu, lap(+)}{\Phi \times b \times d^2}$$

$$R_n = k = \frac{M_n}{b \times d^2} + \frac{78124000}{0,9 \times 300 \times 195364}$$

$$R_n = 1,48$$

#### Rasio Luas Tulangan

$$\rho_{(rho)} = \frac{A_{st}}{b \times d} = \frac{804,248}{300 \times 442} = 0,61 \%$$

$$\rho_{Perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'} \right)} \right) = 0,0033$$

#### Rasio Tulangan Maksimum

$$\rho_{Max} = 2,500\% > 0,61\% \quad OK$$

#### Luas Tulangan Minimum Lentur

$$A_{s,min1} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$A_{s,min1} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \times 300 \times 442$$

$$A_{s,min1} = 394,643 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min2} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$A_{s,\min 2} = \frac{1,4}{420} \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\min 2} = 110,5 \text{ mm}^2$$

$$= 394,643 \text{ mm}^2 < 804,248 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s,\max} = \rho_{\max} \times b \times d$$

$$A_{s,\max} = 2,50\% \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\max} = 3315 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s,\text{perlu}} = 0,0033 \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\text{perlu}} = 447,669 \text{ mm}^2$$

**Tulangan Terpasang (n Total)**

$$= \frac{447,669}{0,25 \times \text{phi} \times db^2}$$

$$= \frac{447,669}{0,25 \times 3,14 \times 256}$$

$$= 2,226 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 0,25 \times \text{phi} \times db^2 \times n_{\text{total}}$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 0,25 \times 3,14 \times 256 \times 4$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 804,248 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{A_{s,\text{Aktual}}}{b \times d}$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{804,248}{300 \times 442}$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = 0,0061$$

### Faktor Reduksi Tulangan

$$\phi = 0,65 < 0,65 + 0,65 \frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,65 < 0,65 + 0,65 \frac{0,018 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,900$$

### Tinggi Blok Beton

$$a = \frac{A_{st} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{804,248 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$a = 52,986 \text{ mm}$$

### Tinggi Daerah Tekan Beton

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{52,986}{0,85} = 62,336 \text{ mm}$$

### Regangan Tulangan terluar

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

$$\varepsilon_{st} = \frac{442 - 62,336}{62,336} \times 0,003$$

$$\varepsilon_{st} = 0,018 > 0,005 \text{ OK}$$

### Kapasitas Momen

$$\phi M_n = \phi \times A_{st,1} \times f_y \times \left( d_1 - \frac{a}{2} \right)$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times 804,248 \times 420 \times \left( 442 - \frac{52,986}{2} \right)$$

$$\Phi M_n = 126317000 \text{ Nmm} = 126,317 \text{ KNm}$$

$$126,317 \text{ KNm} > 78,124 \text{ KNm} \quad \text{OK}$$

### **Momen Nominal Lapangan Positif**

$$M_n = 140,352 \text{ KNm}$$



## Desain Lentur

### 2.8.5 Momen Negatif Tumpuan Kiri (Tulangan Tumpuan Atas)

$$\text{Jumlah Tulangan} \quad n_{ts1} = 5 \cdot \emptyset 16$$

$$\text{Jarak Bersih Tulangan } S_{L1} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Tulangan Total} \quad A_{st} = 1005,309 \text{ mm}^2$$

$$R_n = k = \frac{M_n}{b \times d^2} + \frac{Mu, \text{tum}(-)}{\Phi \times b \times d^2}$$

$$R_n = k = \frac{M_n}{b \times d^2} + \frac{93882000}{0,9 \times 300 \times 195364}$$

$$R_n = 1,77$$

#### Rasio Luas Tulangan

$$\rho_{(\text{rho})} = \frac{A_{st}}{b \times d} = \frac{1005,309}{300 \times 442} = 0,76 \%$$

$$\rho_{\text{Perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'} \right)} \right) = 0,004$$

#### Rasio Tulangan Maksimum

$$\rho_{\text{Max}} = 2,500\% > 0,76\% \quad \text{OK}$$

#### Luas Tulangan Minimum Lentur

$$A_{s,\text{min1}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$A_{s,\text{min1}} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\text{min1}} = 394,643 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{min2}} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$A_{s,\min 2} = \frac{1,4}{420} \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\min 2} = 110,5 \text{ mm}^2$$

$$= 394,643 \text{ mm}^2 < 1005,309 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s,\max} = \rho_{\max} \times b \times d$$

$$A_{s,\max} = 2,50\% \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\max} = 3315 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s,\text{perlu}} = 0,004 \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\text{perlu}} = 546,680 \text{ mm}^2$$

**Tulangan Terpasang (n Total)**

$$= \frac{A_{s,\text{perlu}}}{0,25 \times \text{phi} \times db^2}$$

$$= \frac{546,680}{0,25 \times 3,14 \times 256}$$

$$= 2,72 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 0,25 \times \text{phi} \times db^2 \times n_{\text{total}}$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 0,25 \times 3,14 \times 256 \times 5$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 1005,309 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{A_{s,\text{Aktual}}}{b \times d}$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{1005,309}{300 \times 442}$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = 0,0076$$

### Faktor Reduksi Tulangan

$$\phi = 0,65 < 0,65 + 0,65 \frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,65 < 0,65 + 0,65 \frac{0,007 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,900$$

### Tinggi Blok Beton

$$a = \frac{A_{st} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{1005,309 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$a = 66,232 \text{ mm}$$

### Tinggi Daerah Tekan Beton

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{66,232}{0,85} = 77,92 \text{ mm}$$

### Regangan Tulangan terluar

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

$$\varepsilon_{st} = \frac{442 - 77,92}{77,92} \times 0,003$$

$$\varepsilon_{st} = 0,014 > 0,005 \text{ OK}$$

### Kapasitas Momen

$$\phi M_n = \phi \times A_{st,1} \times f_y \times \left( d1 - \frac{a}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 1005,309 \times 420 \times \left( 442 - \frac{66,232}{2} \right)$$



$$\Phi M_n = 155,379 \text{ kNm}$$

$$\Phi M_n = 155379000 \text{ Nmm}$$

$$155,379 \text{ KNm} > 93,882 \text{ KNm OK}$$

**Momen Nominal Tumpuan Negatif (kiri)**

$$M_n = 106,942 \text{ KNm}$$



## Desain Lentur

### 2.8.6 Momen Positif Tumpuan Kiri (Tulangan Tumpuan Bawah)

$$\text{Jumlah Tulangan} \quad n_{ts1} = 4 \cdot \emptyset 16$$

$$\text{Jarak Bersih Tulangan } S_{L1} = 45,33 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Tulangan Total} \quad A_{st} = 804,25 \text{ mm}^2$$

$$R_n = k = \frac{M_n}{b \times d^2} + \frac{Mu, tum(+)}{\Phi \times b \times d^2}$$

$$R_n = k = \frac{M_n}{b \times d^2} + \frac{46941000}{0,9 \times 300 \times 195364}$$

$$R_n = 0,88$$

#### Rasio Luas Tulangan

$$\rho_{(rho)} = \frac{A_{st}}{b \times d} = \frac{804,25}{300 \times 442} = 0,61 \%$$

$$\rho_{Perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'} \right)} \right) = 0,0018$$

#### Rasio Tulangan Maksimum

$$\rho_{Max} = 2,5 \% > 0,61 \% \quad OK$$

#### Luas Tulangan Minimum Lentur

$$A_{s,min1} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$A_{s,min1} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \times 300 \times 442$$

$$A_{s,min1} = 394,643 \text{ mm}^2$$

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

$$A_{s,\min 2} = \frac{1,4}{420} \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\min 2} = 110,5 \text{ mm}^2$$

$$= 394,643 \text{ mm}^2 < 804,25 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s,\max} = \rho_{\max} \times b \times d$$

$$A_{s,\max} = 2,50\% \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\max} = 3315 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s,\text{perlu}} = 0,0018 \times 300 \times 442$$

$$A_{s,\text{perlu}} = 268,983 \text{ mm}^2$$

**Tulangan Terpasang (n Total)**

$$= \frac{A_{s,\text{perlu}}}{0,25 \times \text{phi} \times db^2}$$

$$= \frac{268,983}{0,25 \times 3,14 \times 256}$$

$$= 1,338 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 0,25 \times \text{phi} \times db^2 \times n_{\text{total}}$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 0,25 \times 3,14 \times 256 \times 4$$

$$A_{s,\text{Aktual}} = 804,25 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{A_{s,\text{Aktual}}}{b \times d}$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \frac{804,25}{300 \times 442}$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = 0,0061$$

### Faktor Reduksi Tulangan

$$\phi = 0,65 < 0,65 + 0,65 \frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{sy}}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,65 < 0,65 + 0,65 \frac{0,007 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,900$$

### Tinggi Blok Beton

$$a = \frac{A_{st} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{804,25 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$a = 52,986 \text{ mm}$$

### Tinggi Daerah Tekan Beton

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{52,986}{0,850} = 62,336 \text{ mm}$$

### Regangan Tulangan terluar

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

$$\varepsilon_{st} = \frac{442 - 62,336}{62,336} \times 0,003$$

$$\varepsilon_{st} = 0,018 > 0,005 \text{ OK}$$

### Kapasitas Momen

$$\Phi M_n = \Phi \times A_{st,1} \times f_y \times \left( d1 - \frac{a}{2} \right)$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times 804,25 \times 420 \times \left(442 - \frac{52,986}{2}\right)$$

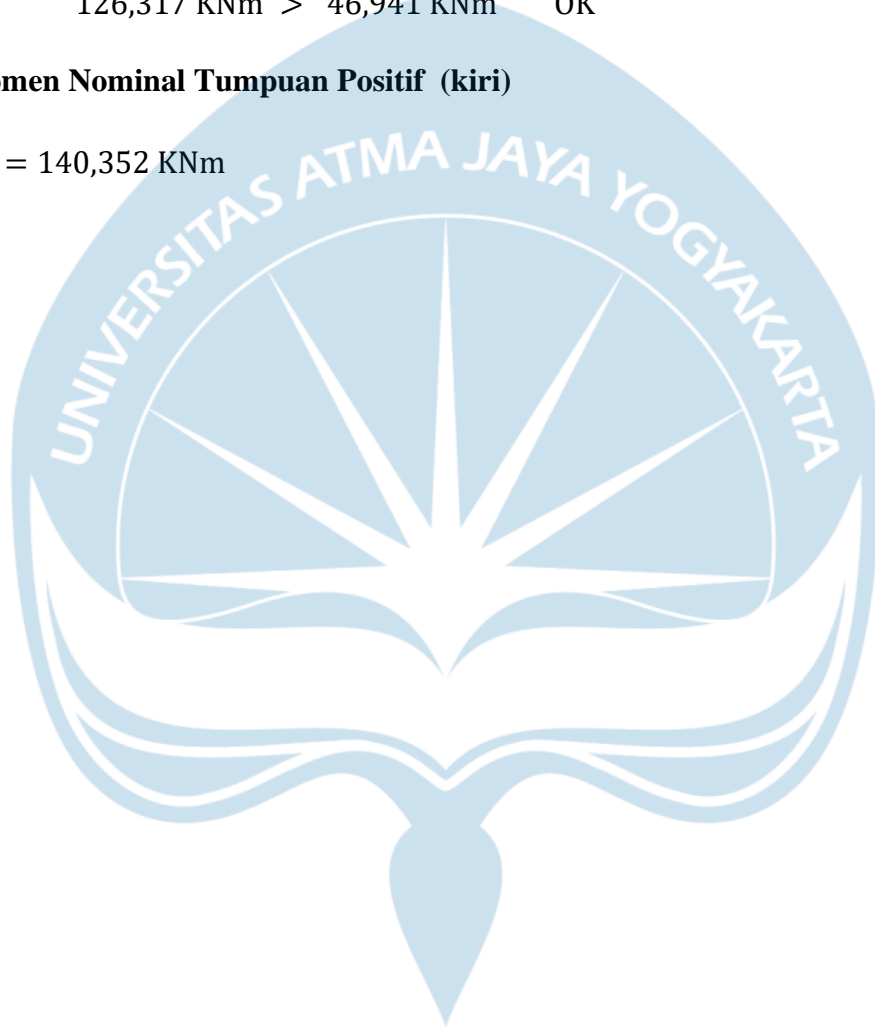
$$\Phi M_n = 126,317 \text{ kNm}$$

$$\Phi M_n = 126317000 \text{ Nmm}$$

$$126,317 \text{ KNm} > 46,941 \text{ KNm} \quad \text{OK}$$

**Momen Nominal Tumpuan Positif (kiri)**

$$M_n = 140,352 \text{ KNm}$$



## Desain Geser

### 2.8.7 Geser Tumpuan Kanan

#### Tinggi Blok Beton Probable Negatif

$$a_{pr^-} = 1,25 \times a_{tumpuan\ negatif} = 1,25 \times 66,232$$

$$a_{pr^-} = 82,79\ mm$$

#### Tinggi Blok Beton Probable Positif

$$a_{pr^+} = 1,25 \times a_{tumpuan\ positif} = 1,25 \times 52,9857$$

$$a_{pr^+} = 66,232\ mm$$

#### Tegangan Baja Probable

$$f_{pr} = 1,25 \times f_y = 1,25 \times 420$$

$$f_{pr} = 525\ Mpa$$

#### Momen Negatif Tumpuan Probable

$$M_{pr^-} = A_{st,1} \times f_{pr} \times \left( d_1 - \frac{a_{pr^-}}{2} \right)$$

$$M_{pr^-} = 1005,310 \times 525 \times \left( 442 - \frac{82,79}{2} \right)$$

$$M_{pr^-} = 211434283\ Nmm \approx 211,434283\ kNm$$

#### Momen Positif Tumpuan Probable

$$M_{pr^+} = A_{st,1} \times f_{pr} \times \left( d_1 - \frac{a_{pr^+}}{2} \right)$$

$$M_{pr^+} = 804,248 \times 525 \times \left( 442 - \frac{66,232}{2} \right)$$

$$M_{pr^+} = 172643078\ Nmm \approx 172,643078\ KNm$$

### 2.8.8 Geser Tumpuan Kiri

#### Tinggi Blok Beton Probable Negatif

$$a_{pr^-} = 1,25 \times a_{tumpuan\ negatif} = 1,25 \times 66,232$$

$$a_{pr^-} = 82,790\ mm$$

#### Tinggi Blok Beton Probable Positif

$$a_{pr^+} = 1,25 \times a_{tumpuan\ positif} = 1,25 \times 52,9857$$

$$a_{pr^+} = 66,232\ mm$$

#### Tegangan Baja Probable

$$f_{pr} = 1,25 \times f_y = 1,25 \times 420$$

$$f_{pr} = 525\ Mpa$$

#### Momen Negatif Tumpuan Probable

$$M_{pr^-} = A_{st,1} \times f_{pr} \times \left( d_1 - \frac{a_{pr^-}}{2} \right)$$

$$M_{pr^-} = 1005,310 \times 525 \times \left( 442 - \frac{82,790}{2} \right)$$

$$M_{pr^-} = 211434283\ Nmm \approx 211,434283\ kNm$$

#### Momen Positif Tumpuan Probable

$$M_{pr^+} = A_{st,1} \times f_{pr} \times \left( d_1 - \frac{a_{pr^+}}{2} \right)$$

$$M_{pr^+} = 804,248 \times 525 \times \left( 442 - \frac{66,232}{2} \right)$$

$$M_{pr^+} = 172643078\ Nmm \approx 172,643078\ KNm$$

**ARAH GEMPA****Gaya Geser Probable**

Tinjauan Kanan:

$$V_{pr} = \frac{M_{pr^+} + M_{pr^-}}{Ln}$$

$$V_{pr} = \frac{172,643 + 211,434}{3,6}$$

$$V_{pr} = 106688 \text{ N} = 106,688 \text{ KN}$$

Tinjauan Kiri:

$$V_{pr} = \frac{M_{pr^+} + M_{pr^-}}{Ln}$$

$$V_{pr} = \frac{172,643 + 211,434}{3,6}$$

$$V_{pr} = 106688 \text{ N} = 106,688 \text{ KN}$$

**Gaya Geser Desain**

Tinjauan Kanan:

$$V_e = V_{g, Kanan} + V_{pr}$$

$$V_e = 68,447 + 106,688$$

$$V_e = 175,135 \text{ KN}$$

$$1/2V_e = 87,5675 \text{ KN}$$

Tinjauan Kiri:

$$V_e = V_{g, Kiri} + V_{pr}$$

$$V_e = 38,029 + 106,688$$

$$V_e = 144,717 \text{ KN}$$

$$1/2V_e = 72,3585 \text{ KN}$$



### Gaya Geser Pakai

Tinjauan Kanan:

$$V_{e_{pakai}} = (V_u, \text{tumpuan}) \text{ atau } (V_e)$$

$$V_{e_{pakai}} = 87,2813 \text{ atau } 175,135$$

$$V_{e_{pakai}} = 175,135 \text{ kN}$$

$$\text{Geser Gempa} = V_{e_{pakai}} + V_g, \text{Kanan}$$

$$\text{Geser Gempa} = 175,135 + 68,447$$

$$\text{Geser Gempa} = 243,582 \text{ KN}$$

Tinjauan Kiri:

$$V_{e_{pakai}} = (V_u, \text{tumpuan}) \text{ atau } (V_e)$$

$$V_{e_{pakai}} = 123,218 \text{ atau } 144,717$$

$$V_{e_{pakai}} = 144,717 \text{ kN}$$

$$\text{Geser Gempa} = V_{e_{pakai}} + V_g, \text{Kanan}$$

$$\text{Geser Gempa} = 144,717 + 38,029$$

$$\text{Geser Gempa} = 182,746 \text{ kN}$$

$$V_c \text{ Diperhitungkan Jika Memenuhi syarat Sbb} = P_u < \frac{A_g + f_c'}{20}$$

$$V_c \text{ Diperhitungkan Jika Memenuhi syarat Sbb} = 8,4607 < \frac{300000 + 25}{20}$$

$$V_c \text{ Diperhitungkan Jika Memenuhi syarat Sbb} = 8,4607 < 15001,25$$

$$V_c \text{ Diperhitungkan Jika Memenuhi syarat Sbb} = V_{pr} \geq 1/2 V_e$$

$$V_c \text{ Diperhitungkan Jika Memenuhi syarat Sbb} = 106,688 \geq 87,568$$

**Tahan Geser Beton**

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

$V_c$  Tidak Diperhitungkan

Daerah Sendi Plastis

$$2h = 2 \times h = 2 \times 500 = 1000 \text{ mm}$$

**Luas Tulangan Sengkang**

$$A_v = n v_s \times \frac{\phi}{4} \times d_s^2$$

$$A_v = 2 \times 0,785 \times 100$$

$$A_v = 157,08 \text{ mm}^2$$

**Spasi Maksimum Sengkang**

$$\text{a. } S_{max} = \frac{d}{4}$$

$$S_{max} = \frac{442}{4}$$

$$S_{max} = 110,5 \text{ mm}$$

$$\text{b. } S_{max} = 6 \times db$$

$$S_{max} = 6 \times 16$$

$$S_{max} = 96 \text{ mm}$$

$$\text{c. } S_{max} = 150 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 96 > 50 \quad OK$$

**Faktor Reduksi**

$$\Phi = 0,75$$

**Tahan Geser Baja**

$$V_{epakai} = 175,135 \text{ KN}$$

$$V_s = \frac{V_{epakai} - V_c}{\Phi}$$

$$V_s = \frac{175,135 - 0}{0,750}$$

$$V_s = 233,513 \text{ kN}$$

$$V_{S_{max}} = 0,660 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$V_{S_{max}} = 0,660 \times 5 \times 300 \times 442$$

$$V_{S_{max}} = 437,580 \text{ kN}$$

$$V_{S_{pakai}} = 233,513 \text{ kN}$$

### Jarak Sengkang Terkoreksi

$$S_{terkoreksi} = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_{S_{pakai}}}$$

$$S_{terkoreksi} = \frac{157,08 \times 280 \times 442}{233513}$$

$$S_{terkoreksi} = 83,25 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$$

### Diluar Sendi Plastis

$$= 3600 \text{ mm} - 2000 \text{ mm} = 1600 \text{ mm}$$

### Faktor Reduksi

$$\Phi = 0,75$$

### Luas Tulangan Sengkang

$$A_v = nvm \times \frac{\phi}{4} \times ds^2$$

$$A_v = 2 \times 0,785 \times 100$$

$$A_v = 157,080 \text{ mm}^2$$

### Tahan Geser Beton

$$V_c = 0,170 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$V_c = 0,170 \times 1 \times 5 \times 300 \times 442$$

$$V_c = 112710 \text{ N} = 112,710 \text{ kN}$$

$$S_{max} = \frac{d}{2}$$

$$S_{max} = \frac{442}{2}$$

$$S_{max} = 221 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 221 > 100 \quad (\text{OK})$$

### Tahan Geser Baja

$$V_s = 194402 \text{ N} = 194,402 \text{ kN}$$

$$V_{S_{max}} = 0,660 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$V_{S_{max}} = 0,660 \times 5 \times 300 \times 442$$

$$V_{S_{max}} = 437580 \text{ N} = 437,580 \text{ kN}$$

$$V_{S_{pakai}} = 194402 \text{ N} = 194,402 \text{ kN}$$

### Jarak Sengakang Terkoreksi

$$S_{terkoreksi} = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_{S_{pakai}}}$$

$$S_{terkoreksi} = \frac{157,080 \times 280 \times 442}{194402}$$

$$S_{terkoreksi} = 100,0001 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

| Lokasi Tinjauan             | Mu (kNm) | Mn (kNm) | $\phi$ Mn (kNm) | $\phi$ Mn (kNm) > Mu (kNm) |
|-----------------------------|----------|----------|-----------------|----------------------------|
| Momen Negatif Tumpuan Kanan | 82,675   | 172,643  | 155,379         | <b>OK</b>                  |
| Momen Positif Tumpuan Kanan | 41,337   | 140,352  | 126,317         | <b>OK</b>                  |
| Momen Negatif Lapangan      | 39,062   | 106,942  | 96,248          | <b>OK</b>                  |
| Momen Positif Lapangan      | 46,941   | 140,352  | 126,317         | <b>OK</b>                  |

|                            |        |         |         |           |
|----------------------------|--------|---------|---------|-----------|
| Momen Negatif Tumpuan Kiri | 93,882 | 172,643 | 155,379 | <b>OK</b> |
| Momen Positif Tumpuan Kiri | 46,941 | 140,352 | 126,317 | <b>OK</b> |

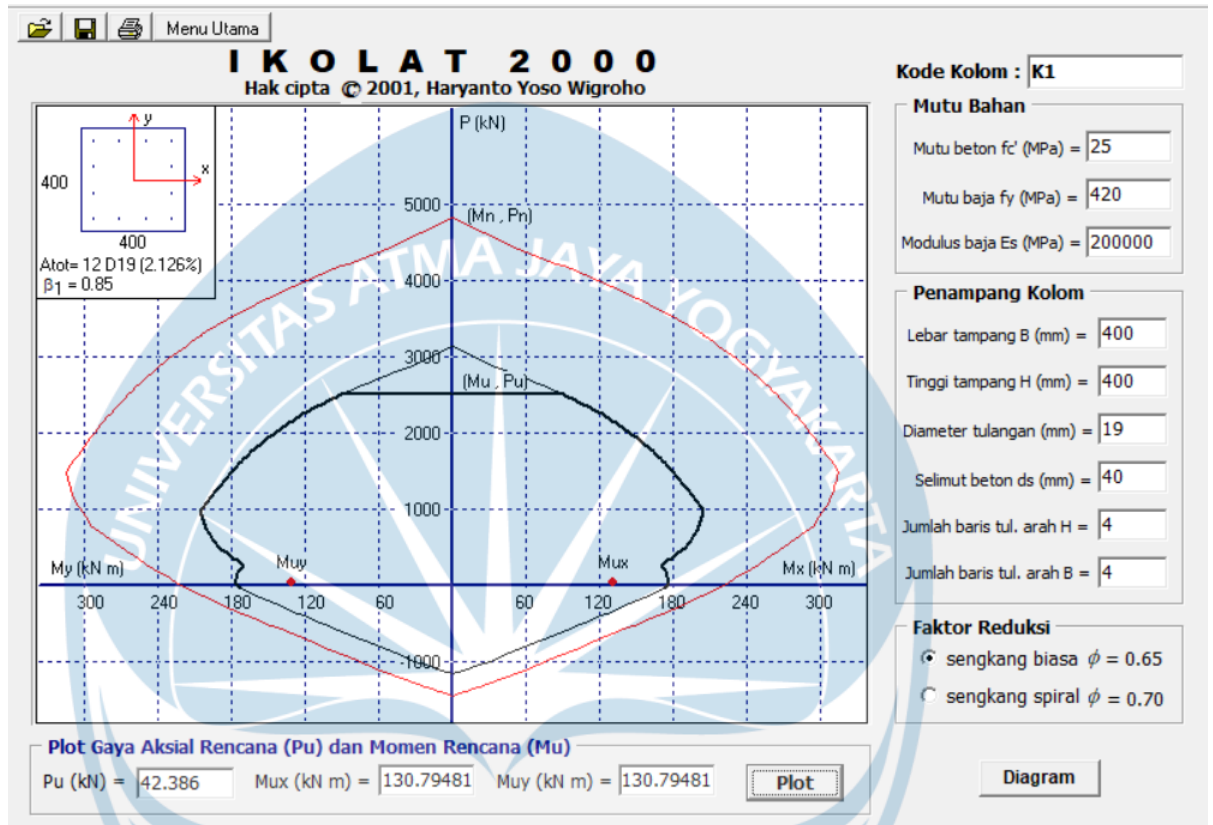
| <b>Lokasi Tinjauan</b>      | <b>As Tulangan Perlu (mm)</b> | <b>As Tulangan Aktual (mm)</b> | <b>As TP &lt; AS TA</b> | <b>Tinggi Balok Beton (a)</b> |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Momen Negatif Tumpuan Kanan | 481,420                       | 1005,3096                      | <b>OK</b>               | <b>66,232</b>                 |
| Momen Positif Tumpuan Kanan | 236,873                       | 804,248                        | <b>OK</b>               | <b>52,986</b>                 |
| Momen Negatif Lapangan      | 220,322                       | 603,186                        | <b>OK</b>               | <b>39,739</b>                 |
| Momen Positif Lapangan      | 447,669                       | 804,248                        | <b>OK</b>               | <b>52,986</b>                 |
| Momen Negatif Tumpuan Kiri  | 546,680                       | 1005,310                       | <b>OK</b>               | <b>66,232</b>                 |
| Momen Positif Tumpuan Kiri  | 268,983                       | 804,25                         | <b>OK</b>               | <b>52,986</b>                 |

| Lokasi Tinjauan             | Jumlah Tulangan |        | Ket | Rangkap Tulangan | Regangan Tulangan ( $\epsilon_{st}$ ) | $\epsilon_{st} > 0,005$ |
|-----------------------------|-----------------|--------|-----|------------------|---------------------------------------|-------------------------|
|                             | Butuh           | Pasang |     |                  |                                       |                         |
| Momen Negatif Tumpuan Kanan | 2,39            | 5      | OK  | 1                | 0,014                                 | OK                      |
| Momen Positif Tumpuan Kanan | 1,2             | 4      | OK  | 1                | 0,018                                 | OK                      |
| Momen Negatif Lapangan      | 1,095           | 3      | OK  | 1                | 0,025                                 | OK                      |
| Momen Positif Lapangan      | 2,226           | 4      | OK  | 1                | 0,018                                 | OK                      |
| Momen Negatif Tumpuan Kiri  | 2,72            | 5      | OK  | 1                | 0,014                                 | OK                      |
| Momen Positif Tumpuan Kiri  | 1,338           | 4      | OK  | 1                | 0,018                                 | OK                      |

## 2.9 Perencanaan Kolom

### 2.9.1. Reaksi Tumpuan

#### DIAGRAM INTERAKSI KOLOM SEGI EMPAT BETON BERTULANG



### 2.9.2 Perencanaan Tulangan Kolom

- Ukuran kolom :  $0,4 \times 0,4$  m
- Ketinggian : 3.50 m
- $F'_c$  : 25 Mpa
- E : 25742960,2 kN/m<sup>2</sup>
- $F_y$  : 420 Mpa
- Momen <sup>+</sup> : 268,965 kNm
- Momen <sup>-</sup> : 331,927 kNm
- Ø tulangan longitudinal (rencana) = 19 mm
- Ø tulangan transversal (rencana) = 13 mm

#### Mutu Bahan

- Mutu beton : 25 Mpa
- Mutu baja : 420 Mpa
- Modulus baja : 200 000

#### Penampang Kolom

- Lebar tampang B : 400 mm
- Tinggi tampang H : 400 mm
- Diameter tulangan : 19 mm
- Selimut beton : 40 mm
- Jumlah baris tulangan arah H : 4
- Jumlah baris tulangan arah B : 4

#### Faktor Reduksi

- Senggang biasa  $\phi$  : 0,65

#### Digunakan Ikolat dan mendapatkan hasil :

- $P_u$  : 42,386 kN
- $M_{ux}$  : 130,795 kNm
- $M_{uy}$  : 130,795 kNm

#### Desain Tulangan Longitudinal

- a) Syarat Gaya dan Geometri



- Syarat sisi terpendek SNI 2847:2019 (18.7.2.1)  
 $b \geq 300 \text{ mm} \rightarrow 400 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$  OK
- Syarat rasio dimensi penampang SNI 2847:2019 (18.7.2.1)

$$\frac{b}{h} \geq 0.4 \rightarrow \frac{400}{400} \geq 0.4 \quad \text{OK}$$

b) Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur

- Jumlah Tulangan,  $n$  (diinput)  $\rightarrow 12$
- Luas tulangan longitudinal,  $A_s$

$$\frac{n \times \pi}{4 \times db^2} \rightarrow \frac{12 \times \pi}{4 \times 19^2} = 3402.3 \text{ mm}^2$$

- Rasio penulangan,  $\rho$

$$\frac{A_s}{(b \times h)} \rightarrow \frac{3402.3}{(400 \times 400)} = 2.13\%$$

- Cek  $\rho_{\min}$  dan  $\rho_{\max}$  SNI 2847:2019 (18.7.4.1)

$$1\% \leq \rho \leq 6\% \rightarrow 1\% \leq 2.13\% \leq 6\% \quad \text{OK}$$

c) Pengecekan Strong Column – Weak Beam (SCWB)

- Momen nominal kolom,  $M_{nc} \rightarrow 230 \text{ kNm}$
- $M_n^-$  tumpuan balok  $\rightarrow 117.108 \text{ kNm}$
- $M_n^+$  tumpuan balok  $\rightarrow 114.481 \text{ kNm}$
- Cek SCWB, SNI 2847:2019 (18.7.3.2)

$$\begin{aligned} 2 \times M_{nc} &\geq 1.2 \times (M_n^- + M_n^+) \rightarrow 2 \times 230 \geq 1.2 \times (117.108 + \\ &114.481) \\ &= 460 \geq 277.907 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$\therefore$  Digunakan tulangan 12D19

Desain Tulangan Transversal

a) Panjang Zona Sendi Plastis

- $l_{o1}$  SNI 2847:2019 (18.7.5.1)  $\rightarrow h = 400 \text{ mm}$
- $l_{o2}$  SNI 2847:2019 (18.7.5.1)  $\rightarrow \frac{L_n}{6} = \frac{3220}{6} = 536.7 \text{ mm}$
- $l_{o3}$  SNI 2847:2019 (18.7.5.1)  $\rightarrow 450 \text{ mm}$
- $l_o$  SNI 2847:2019 (18.7.5.1)  $\rightarrow \text{Max}(l_{o1}; l_{o2}; l_{o3}; l_o) = 536.7 \text{ mm}$

b)

c) Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis (Tumpuan)

- Jumlah kaki sisi pendek,  $n_1$  (diinput) = 4
- Jumlah kaki sisi panjang,  $n_2$  (diinput) = 4
- Spasi,  $s$  = 50 mm
- Spasi kaki terbesar,  $X_i$  max SNI 2847:2019 (R18.7.5.2)  
= 300 mm

- $A_{sh1} \rightarrow n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \rightarrow 4 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 314.159 \text{ mm}^2$

- $A_{sh2} \rightarrow n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \rightarrow 4 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 314.159 \text{ mm}^2$

- $A_{sh/s,1} \rightarrow \frac{314.159}{50} = 6.283 \text{ mm}$

- $A_{sh/s,2} \rightarrow \frac{314.159}{50} = 6.283 \text{ mm}$

c) *Confinement*/Kekangan Zona Sendi Plastis

- Lebar penampang inti beton,  $b_c$  SNI 2847:2019 (R18.7.5.2)  
 $\rightarrow b - 2c_c = 400 - 2 \times 40 = 320 \text{ mm}$
- Panjang penampang inti beton,  $h_c$  SNI 2847:2019 (R18.7.5.2)  
 $\rightarrow h - 2c_c = 400 - 2 \times 40 = 320 \text{ mm}$

- Luas penampang kolom,  $A_g$   
 $\rightarrow b \times h = 400 \times 400 = 160000 \text{ mm}^2$

- Luas penampang inti beton,  $A_{ch}$   
 $\rightarrow b_c \times h_c = 320 \times 320 = 102400 \text{ mm}^2$

- Sisi pendek/sumbu lemah

- $A_{sh/s \text{ min}, 1} \rightarrow 0.3(b_c \times \frac{f_c}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1)$  SNI 2847:2019 (18.7.5.4)

- $\rightarrow 0.3(320 \times \frac{25}{420}) \times (\frac{160000}{102400} - 1) = 3.214 \text{ mm}^2$

- $A_{sh/s \text{ min}, 2} \rightarrow 0.09 \times b_c \times \frac{f_c}{f_y}$  SNI 2847:2019 (18.7.5.4)

- $\rightarrow 0.09 \times 320 \times \frac{25}{420} = 1.714 \text{ mm}^2$

- Cek  $A_{sh/s 1} \rightarrow A_{sh/s 1} \geq A_{sh/s \text{ min}}$

- $\rightarrow 10.619 \geq 3.124 \text{ OK}$

- Sisi panjang/sumbu kuat

- $A_{sh}/s \text{ min}, 1 \rightarrow 0.3(b_c \times \frac{f_c}{f_y}) \times (\frac{A_q}{A_{ch}} - 1)$  SNI 2847:2019 (18.7.5.4)
  - $\rightarrow 0.3(320 \times \frac{25}{420}) \times (\frac{160000}{102400} - 1) = 3.214 \text{ mm}^2$
- $A_{sh}/s \text{ min}, 2 \rightarrow 0.09 \times b_c \times \frac{f_c}{f_y}$  SNI 2847:2019 (18.7.5.4)
  - $\rightarrow 0.09 \times 320 \times \frac{25}{420} = 1.714 \text{ mm}^2$
- Cek  $A_{sh}/s \text{ 2} \rightarrow A_{sh}/s \text{ 1} \geq A_{sh}/s \text{ min}$ 
  - $\rightarrow 10.619 \geq 3.124 \text{ OK}$
- Cek Spasi
  - $S_{max} \text{ 1} \rightarrow \frac{b}{4}$  SNI 2847:2019 (18.7.5.3)
    - $\rightarrow \frac{400}{4} = 100 \text{ mm}$
  - $S_{max} \text{ 2} \rightarrow 6 \times d_b$  SNI 2847:2019 (18.7.5.3)
    - $\rightarrow 6 \times 13 = 78 \text{ mm}$
  - $h_x \rightarrow X_{imax} = 300 \text{ mm}$  SNI 2847:2019 (18.7.5.3)
  - $S_{max} \text{ 2} = S_o \rightarrow 100 \leq 100 + (350 - h_x)/3 \leq 150$  SNI 2847:2019 (18.7.5.3)
    - $\rightarrow 100 \leq 116.667 \leq 150$
  - $S_{max} \rightarrow \text{Min}(S_{max} \text{ 1}, S_{max} \text{ 2}, S_{max} \text{ 3})$  SNI 2847:2019 (18.7.5.3)
    - $\rightarrow \text{Min}(100, 78, 116.667) = 78 \text{ mm}$
  - Cek Spasi  $\rightarrow \text{Spasi}, S \leq S_{max} \rightarrow 50 \text{ mm} \leq 78 \text{ mm OK}$

d) Kuat Geser Zona Sendi Plastis

- Gaya Geser Desain
  - $M_{pr} \text{ Kolom (Input nilai terbesar)} = 230 \text{ kNm}$
  - $V_u \text{ 1} \rightarrow 2 \times M_{pr} \text{ Kolom/Ln}$  SNI 2847: 2019 (18.7.6.1)
    - $\rightarrow 2 \times (230 \times 10^6)/3220 = 142857 \text{ N}$
- Gaya geser hasil analisis struktur
  - $V_u \text{ 2, sumbu lemah (Gaya Dalam)} = 16375.8 \text{ N}$
  - $V_u \text{ 2, sumbu kuat (Gaya Dalam)} = 61679.1 \text{ N}$
- Tahanan geser beton sumbu lemah
  - $V_u \rightarrow \text{Max}(V_u \text{ 1}, V_u \text{ 2}) = 142857 \text{ N}$

- $\Phi = 0.75$  SNI 2847:2019 (Tabel 21.2.1)
- $V_c = 0.17 \times [1 + Nu/(14 Ag)] \sqrt{f'_c} h \times d$ ;  $d = b - c_c - d_s - db / 2$  SNI 2847:2019 (22.5.6.1)
  - $\rightarrow 0.17 \times [1 + 10.4384 \times 10^3 / (14 \times 400 \times 400)] \times \sqrt{25} \times 400 \times (400 - 40 - 13 - \frac{19}{2}) = 115285 N$
- $V_s \text{ perlu} = V_u / \Phi - V_c$  SNI 2847:2019 (22.5.10.1)
  - $\rightarrow 142857 / 0.75 - 115285 = 75191 N$
- $A_s / s \text{ Perlu} = V_s / (f_y \times (b - c_c - d_s - d_b / 2))$  SNI 2847:2019 (22.5.10.5.3)
  - $\rightarrow 75191 / (420 \times (400 - 40 - 13 - 19/2)) = 0.5305 \text{ mm}$
- $A_s / s \text{ min 1} = 0.0062 \times \sqrt{f'_c} \times h / f_y$  SNI 2847:2019 (10.6.2.2)
  - $\rightarrow 0.0062 \times \sqrt{25} \times 400 / 420 = 0.2952 \text{ mm}$
- $A_s / s \text{ min 2} = 0.35 \times h / f_y$  SNI 2847:2019 (10.6.2.2)
  - $\rightarrow 0.35 \times 400 / 420 = 0.3333 \text{ mm}$
- Cek  $A_s / s = A_s / s_1 \geq \text{Max}(A_s / s \text{ Perlu}, A_s / s \text{ Min})$ 
  - $\rightarrow 10.619 \geq 0.5305 \text{ OK}$
- Tahanan geser beton sumbu kuat
  - $V_u \rightarrow \text{Max}(V_u 1, V_u 2) = 142857 N$
  - $\Phi = 0.75$  SNI 2847:2019 (Tabel 21.2.1)
  - $V_c = 0.17 \times [1 + Nu/(14 Ag)] \sqrt{f'_c} b \times d$ ;  $d = h - c_c - d_s - db / 2$  SNI 2847:2019 (22.5.6.1)
    - $\rightarrow 0.17 \times [1 + 10.4384 \times 10^3 / (14 \times 400 \times 400)] \times \sqrt{25} \times 400 \times (400 - 40 - 13 - \frac{19}{2}) = 115285 N$
  - $V_s \text{ perlu} = V_u / \Phi - V_c$  SNI 2847:2019 (22.5.10.1)
    - $\rightarrow 142857 / 0.75 - 115285 = 75191 N$
  - $A_s / s \text{ Perlu} = V_s / (f_y \times (h - c_c - d_s - d_b / 2))$  SNI 2847:2019 (22.5.10.5.3)
    - $\rightarrow 75191 / (420 \times (400 - 40 - 13 - 19/2)) = 0.5305 \text{ mm}$

$$\circ A_s/s \text{ min } 1 = 0.0062 \times \sqrt{f_c'} \times b/f_y \text{ SNI 2847:2019 (10.6.2.2)}$$

$$\rightarrow 0.0062 \times \sqrt{25} \times 400/420 = 0.2952 \text{ mm}$$

$$\circ A_s/s \text{ min } 2 = 0.35 \times b/f_y \text{ SNI 2847:2019 (10.6.2.2)}$$

$$\rightarrow 0.35 \times 400/420 = 0.3333 \text{ mm}$$

$$\circ \text{Cek } A_s/s = A_s/s1 \geq \text{Max}(A_s/s\text{Perlu}, A_s/s\text{Min})$$

$$\rightarrow 10.619 \geq 0.5305 \text{ OK}$$

e) Tulangan Transversal Luar Sendi Plastis/Tumpuan

- Jumlah kaki sisi pendek, n1 (Input) = 4

- Jumlah kaki sisi Panjang, n2 (Input) = 4

- Spasi, s (Input) = 100 mm

- $A_v \text{ sumbu lemah} = n \times \pi / 4 \times d_s^2$

$$\rightarrow \frac{4 \times \pi}{4 \times 13^2} = 530.929 \text{ mm}^2$$

- $A_v \text{ sumbu kuat} = n \times \pi / 4 \times d_s^2$

$$\rightarrow \frac{4 \times \pi}{4 \times 13^2} = 530.929 \text{ mm}^2$$

f) *Confinement*/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis

- Spasi max 1 =  $6 \times d_b$  SNI 2847:2019 (18.7.5.5)

$$\rightarrow 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

- Spasi max 2 = 150 mm SNI 2847:2019 (18.7.5.5)

- Cek Spasi  $\rightarrow$  Spasi  $\leq$  Min (Spasi Max 1, Spasi Max 2)

$$= 50 \text{ mm} \leq 114 \text{ mm} \text{ OK}$$

$\therefore$  Digunakan tulangan sengkang 4D13-50 (luar sendi plastis) dan 4D13-100 (dalam sendi plastis)