

## **BAB II**

### **PERANCANGAN STRUKTUR ATAS**

#### **2.1 Preliminary Design**

Perancangan Gedung Youth Center di Bengkulu menggunakan material beton dengan mutu beton  $f'c$  35 MPa dan  $f'c$  25 MPa pada bagian struktur atas untuk struktur portal (pelat, balok, kolom) dan material baja dengan mutu BJ37 untuk struktur atap.

##### **2.1.1 Standar dan Acuan Perancangan**

Struktur atas bangunan Youth Center dirancang berdasarkan peraturan, standard dan acuan yang berlaku di Indonesia yaitu sebagai berikut :

1. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung,
2. SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain,
3. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan,

##### **2.1.2 Spesifikasi Material Struktur**

Perancangan Gedung Youth Center di Bengkulu menggunakan beberapa material pada setiap bagian yang berbeda. Adapun material yang digunakan pada bangunan gedung ini adalah sebagai berikut :

###### **1. Baja Profil**

Baja profil yang digunakan BJ37 Profil *Double Angel* (2L) ukuran 80x80x6 cm dengan tegangan leleh baja ( $f_y$ ) = 240 MPa dan tegangan ultimit baja ( $f_u$ ) = 370 Mpa. Baja ini memiliki modulus elastisitas ( $E_s$ ) sebesar 200.000 MPa.

###### **2. Beton**

Pada perancangan Gedung Youth Center digunakan mutu kuat tekan beton yang berbeda. Balok dan kolom menggunakan mutu beton pada umur 28 hari  $f'c$  = 35 MPa sedangkan, untuk pelat lantai menggunakan

mutu beton pada umur 28 hari,  $f'c = 25$  MPa. Modulus elastisitas beton 25 MPa,  $E_c = 4700\sqrt{f'c} = 23500$  MPa dan Modulus elastisitas beton 35 MPa,  $E_c = 4700\sqrt{f'c} = 27085,6$  MPa.

### 3. Baja Tulangan

Baja tulangan dengan  $D > 12$  mm, digunakan baja ulir dengan tegangan leleh,  $f_y = 420$  MPa dan Baja tulangan dengan  $D < 12$  mm, digunakan baja polos dengan tegangan leleh  $f_y = 280$  MPa.

## 2.2 Penentuan Sistem Struktur

### 2.2.1 Sistem Struktur

Gedung Youth Center memiliki sistem struktur yang terdiri atas pelat lantai, kolom, balok induk, balok anak yang seluruhnya dari bahan beton bertulang. Pelat beton bertulang pada struktur ini menggunakan sistem konvensional yaitu pelat dua arah yang tepinya terdapat balok beton bertulang dan beberapa bagian pelat kantilever. Struktur penahan beban lateral terdiri atas balok pelat sebagai rangka portal arah X dan Y. Dengan keseluruhan sistem ini, maka Gedung Youth Center di Bengkulu menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan kolom dan balok penahan momen sesuai SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

### 2.2.2 Model Struktur

Gaya-gaya dalam yang dihasilkan melalui pemodelan struktur dengan beban-beban ulimit yang bekerja menghasilkan desain struktur. Pemodelan struktur dilakukan dengan model 3D menggunakan *MidasGen*. Elemen rangka yang digunakan pada pemodelan bertujuan untuk mengidealkan balok, kolom, pelat lantai dan sloof.

## 2.3 Perencanaan Pembebanan Struktur

### 2.3.1 Beban Rencana

#### 1. Beban Gravitasi

Berdasarkan SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain telah ditetapkan nilai untuk beban gravitasi. Beban gravitasi yang ada pada Gedung Youth Center di Bengkulu berupa berat sendiri bangunan / *dead load* (DL), beban mati tambahan / *additional dead load* (ADL) dan beban hidup / *live load* (LL) yang diuraikan sebagai berikut :

##### a. Berat Sendiri Bangunan (DL)

Berat sendiri bangunan didapatkan dari seluruh bagian dan elemen struktur berupa pelat lantai, kolom, balok dan lainnya yang menjadi bagian dari struktur utama bangunan. Perhitungan *dead load* dilakukan secara otomatis saat pemodelan struktur di *software* yang digunakan. Hal ini juga dipengaruhi jenis material dan dimensi elemen yang diinputkan kedalam pemodelan.

##### b. Beban Mati Tambahan (ADL)

*Additional Dead Load* adalah beban tambahan akibat adanya komponen non-struktural yang melekat dan mempengaruhi pembebanan struktur utama bangunan tersebut.

Beban mati tambahan pada struktur gedung ini sebagai berikut:

- MEP, Plafon,dll = 0,36 kN/m<sup>2</sup>
- Beban Pasir = 0,8 kN/m<sup>2</sup>
- Beban Keramik = 0,24 kN/m<sup>2</sup>
- Beban Spesi = 0,0021 kN/m<sup>2</sup>
- Finishing = 0,0042 kN/m<sup>2</sup>
- Bata Ringan (tinggi efektif 3,3 m) = 0,48 x 3,3 = 1,6 kN/m'
- Dinding Kaca (tinggi efektif 3,3 m) = 0,5 x 3,3 = 1,55 kN/m'

##### c. Beban Hidup (LL)

Seluruh aktivitas atau kegiatan yang terjadi di Gedung Youth Center yang dilakukan oleh manusia akibat penggunaan struktur bangunan

disebut sebagai *live load* atau beban hidup. Menurut SNI 1727 : 2020 Gedung Youth Center termasuk kategori ruang publik sehingga beban hidup sebesar 4,79 kN/m<sup>2</sup>.

## 2. Beban Gempa

Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726:2019) telah menetapkan nilai-nilai untuk beban gempa. Perhitungan gempa untuk bangunan dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

### a. Menentukan Kategori Resiko

Penentuan kategori resiko suatu bangunan dan non-bangunan ditinjau dari fungsi penggunaan / pemanfaatannya. Pada SNI 1726:2019 kategori resiko dibedakan menjadi I-IV kategori dengan uraian seperti pada Tabel 2.1 Gedung Youth Center di Bengkulu ditinjau berdasarkan fungsi pemanfaatan ruang termasuk dalam kategori resiko bangunan II.

Tabel 2.1 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
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 industry</li> <li>▪ Fasilitas manufaktur</li> <li>▪ Pabrik</li> </ul>	II

Sumber: SNI 1726:2019

b. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )

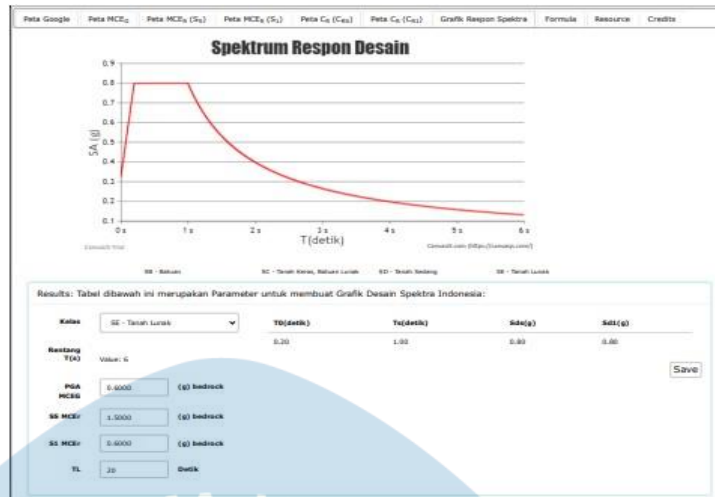
Faktor keutamaan gempa erat kaitannya dengan kategori resiko bangunan tersebut. Menurut SNI 1726:2019 telah ditetapkan nilai-nilai faktor keutamaan gempa berdasarkan kategori resiko bangunan. Pada Tabel 2.2 didapatkan bahwa faktor keutamaan gempa sebesar 1,00 karena gedung tersebut termasuk pada kategori resiko bangunan II.

Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

c. Menentukan Parameter Percepatan Tanah ( $S_s$  dan  $S_1$ )

Nilai  $S_s$  dan  $S_1$  digunakan sebagai parameter tanah untuk dapat menentukan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah yang dipengaruhi oleh jenis tanah yang ada di lokasi proyek. Parameter percepatan tanah ditetapkan untuk periode pendek dan periode 1 detik. Lokasi proyek Gedung Youth Center terletak di Bengkulu sehingga nilai  $S_s = 1.5$  g dan nilai  $S_1 = 0.6$  g. Respons spektrum pada Gedung Youth Center dapat dilihat di Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Respons Spektrum Gedung Youth Center di Bengkulu

d. Menentukan Klasifikasi Situs (SA-SF)

Identifikasi klasifikasi situs tanah di lokasi sangatlah penting. Hal ini dilakukan guna menentukan jenis tanah pada lokasi proyek sekaligus langkah yang dapat digunakan untuk menunjang pengerjaan Gedung Youth Center. Identifikasi situs tanah dapat dilakukan melalui penyelidikan langsung di lokasi proyek. Hasil penyelidikan di lapangan nantinya akan digunakan untuk penyelidikan di laboratorium. Berdasarkan SNI 1726:2019 situs tanah dibedakan menjadi 6 klasifikasi antara lain SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak) dan SF (tanah khusus). Klasifikasi dan syarat penentuan situs dijelaskan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Klasifikasi Situs Tanah

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\overline{N_{ch}}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:		
	1. Indeks plastisitas, $PI > 20$		
	2. Kadar air, $w \geq 40\%$		
	3. Kuat geser niralir, $s_u < 25$ kPa		
Catatan: N/A = tidak dapat dipakai			

Sumber: SNI 1726:2019

Berdasarkan hasil uji N-SPT yang dilakukan di lapangan, proyek Gedung Youth Center di Bengkulu masuk ke dalam kategori situs tanah lunak. Data N-SPT ini dijelaskan pada laporan penyelidikan tanah.

e. Menentukan koefisien situs

Koefisien situs terdiri dari faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik ( $F_a$ ) dan periode 1 detik ( $F_v$ ). Kedua faktor amplifikasi digunakan untuk menentukan respons spectral percepatan gempa. Untuk mendapatkan faktor amplifikasi dibutuhkan data kelas situs dan parameter respons spectral percepatan gempa MCER periode tertentu. Faktor amplifikasi periode 0,2 detik menggunakan parameter  $S_s$ , sedangkan untuk faktor amplifikasi 1 detik digunakan parameter  $S_1$ . Apabila  $S_s$  dan  $S_1$  tidak ada dalam tabel 2.4 dan 2.5 maka dapat digunakan interpolasi.

Tabel 2.4 Koefisien Situs,  $F_a$

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCER) 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
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	$S_s^a$					

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2.5 Koefisien Situs, Fv

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T=0.2 detik (S <sub>s</sub> )					
	S <sub>1</sub> ≤0,1	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	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,3	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	S <sub>s</sub> <sup>a</sup>					

Sumber: SNI 1726:2019

Catatan :

- a) Untuk nilai-nilai antara S<sub>1</sub>, dapat dicari dengan menggunakan metode interpolasi linier.
- b) SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik secara spesifik dan analisis respons situs -spesifik, dapat dilihat pada Pasal 6.10.1. Berdasarkan perhitungan dan penentuan sebelumnya, tabel 2.4 dan tabel 2.5 didapatkan nilai Fa dan Fv untuk kelas situs SE (Tanah Lunak) pada nilai S<sub>s</sub> = 1,5 dan S<sub>1</sub> = 0,6 secara berturut-turut sebagai berikut 0,8 dan 2. Setelah mendapatkan nilai Fa dan Fv, maka dapat dilanjutkan untuk menentukan parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S<sub>MS</sub>) dan periode 1 detik (S<sub>M1</sub>) dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 S_{MS} &= F_a \times S_s \\
 &= 0,8 \times 1,5 \\
 &= 1,2 \text{ g}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 SM1 &= Fv \times S1 \\
 &= 2 \times 0,6 \\
 &= 1,2 \text{ g}
 \end{aligned}$$

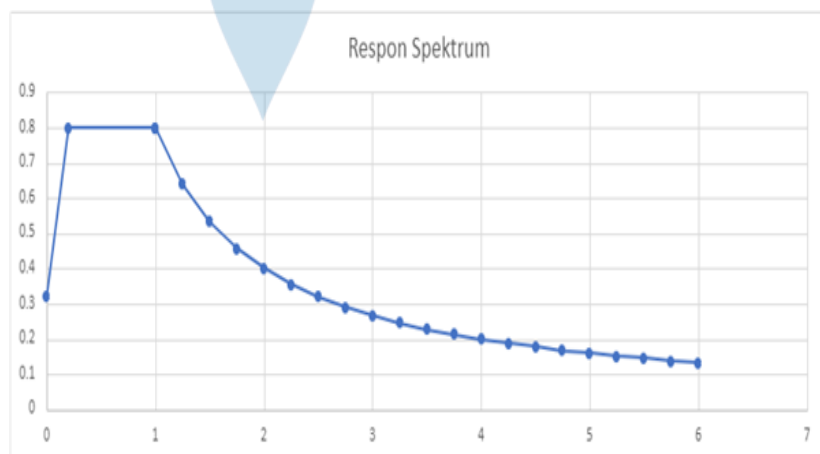
f. Menghitung parameter percepatan desain ( $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ )

Nilai dari  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$  yang telah didapatkan digunakan untuk menetapkan parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek 0,2 detik ( $S_{DS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) serta menyusun kurva respons spektra. Nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 SDS &= \frac{2}{3} \times SMS \\
 &= \frac{2}{3} \times 1,2 \\
 &= 0,8 \text{ g} \\
 SD1 &= \frac{2}{3} \times SM1 \\
 &= \frac{2}{3} \times 1,2 \\
 &= 0,8 \text{ g}
 \end{aligned}$$

g. Menyusun Kurva Spektra Desain

Setelah mendapatkan seluruh variabel pada tahap sebelumnya, maka selanjutnya menyusun kurva respons spektra desain. Desain respons spektrum hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Kurva Spektrum Repons Desain

Dari respons spektrum diatas diinput data periode dan percepatan respon yang didapatkan melalui perhitungan menggunakan *Microsoft Excel*. Nilai periode dan percepatan respons spektra dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Nilai Periode dan Percepatan Respons Spektra

T (detik)	Keterangan	S <sub>a</sub> (g)	Keterangan
0	awal	0.32	0.4 S <sub>DS</sub>
0.2	$T_0 = 0.2 S_{D1}/S_{DS}$	0.8000	S <sub>DS</sub>
1	$T_s = S_{D1}/S_{DS}$	0.8000	S <sub>DS</sub>
1	T <sub>s</sub> +0,00	0.8000	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
1.25	T <sub>s</sub> +0,25	0.6400	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
1.5	T <sub>s</sub> +0,5	0.5333	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
1.75	T <sub>s</sub> +0,75	0.4571	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
2	T <sub>s</sub> +1,0	0.4000	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
2.25	T <sub>s</sub> +1,25	0.3556	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
2.5	T <sub>s</sub> +1,5	0.3200	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
2.75	T <sub>s</sub> +1,75	0.2909	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
3	T <sub>s</sub> +2,0	0.2667	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
3.25	T <sub>s</sub> +2,25	0.2462	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
3.5	T <sub>s</sub> +2,5	0.2286	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
3.75	T <sub>s</sub> +2,75	0.2133	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
4	T <sub>s</sub> +3,0	0.2000	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
4.25	T <sub>s</sub> +3,25	0.1882	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
4.5	T <sub>s</sub> +3,50	0.1778	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
4.75	T <sub>s</sub> +3,75	0.1684	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
5	T <sub>s</sub> +4,0	0.1600	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
5.25	T <sub>s</sub> +4,25	0.1524	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T

Tabel 2.6 Lanjutan

T (detik)	Keterangan	S <sub>a</sub> (g)	Keterangan
5.5	T <sub>s</sub> +4,50	0.1455	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
5.75	T <sub>s</sub> +4,75	0.1391	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T
6	T <sub>s</sub> +5,0	0.1333	S <sub>a</sub> = S <sub>D1</sub> /T

h. Menentukan Kategori Desain Seismik (KDS-A-F)

Kategori desain seismik (KDS) harus ditentukan untuk desain struktur sesuai dengan ketentuan pada Pasal 6.5 SNI 1726:2019. Tabel 2.7 dan 2.8 menyajikan kategori desain seismik yang ditentukan berdasarkan hubungan dengan kategori resiko dan S<sub>DS</sub> dan S<sub>D1</sub> dengan KDS.

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek (0,2 detik)

Nilai S <sub>DS</sub>	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
0,50 ≤ SDS	D	D

Sumber : SNI 1726:2019

Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik

Nilai S <sub>D1</sub>	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
0,20 ≤ SD1	D	D

Sumber : SNI 1726:2019

Bangunan Gedung Youth Center memiliki nilai SDS lebih dari 0,5 sehingga kategori resiko bangunan masuk dalam kategori D. Apabila ditinjau dari parameter SD1, nilai SD1 pada bangunan

Gedung Youth Center lebih besar dari 0,2 sehingga Gedung Youth Center masuk ke kategori resiko D.

i. Menentukan Sistem dan Parameter Struktur ( R, Cd,  $\Omega_0$ )

Nilai R, Cd,  $\Omega_0$  harus diterapkan apabila sistem pemikul gaya seismik berbeda termasuk batasan sistem struktur yang dijelaskan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 R, Cd,  $\Omega_0$  Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan-gaya seismik	R	$\Omega_0$	Cd	Batasan struktur dan tinggi struktur, $h_n$ (m)				
				KDS				
				B	C	D	E	F
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5.5	TB	TB	TB	TB	TB

Sumber : SNI 1726:2019

Sistem struktur penahan gaya gempa yang digunakan pada struktur adalah SRPMK sehingga diperoleh parameter struktur sebagai berikut:

$$R = 8; \Omega_0 = 5.5; Cd = 3$$

j. Menentukan Faktor Redundansi ( $\rho$ )

Berdasarkan Pasal 7.3.4.2 SNI 1726:2019 faktor redundansi yang diterapkan pada bangunan dengan kategori resiko D adalah 1,3 sehingga faktor redudansi yang diterapkan pada Geudng Youth Center adalah 1,3.

k. Memilih prosedur analisis gaya lateral/gempa (ELF, RS, TH)

Menurut SNI 1726:2019 analisis beban gempa dapat dilakukan dengan 3 jenis prosedur antara lain analisis gaya lateral ekivalen (*equivalent lateral forces*), prosedur riwayat respons seismic (*time history*), analisis spektrum respons (*respons spectra*).

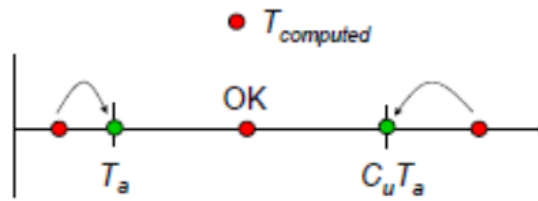
1. Menghitung beban gempa dengan prosedur gaya lateral ekivalen (EFL)

Dasar untuk analisis gaya lateral ekivalen (ELF) adalah respons ragam pertama (*first modes*). ELF hanya berlaku untuk  $T < 3,5T_s$  ( $T_s = SD1/SDS$ ) atau struktur regular. Apabila nilai  $T$  tidak terpenuhi atau struktur bukan struktur regular maka harus digunakan prosedur lainnya yaitu analisis spektrum respons ragam atau prosedur riwayat waktu (*time history*). Hasil dari gaya gempa berupa fungsi berat *seismic* efektif ( $W_t$ ) dan koefisien respons *seismic* ( $C_s$ ) yang selanjutnya disebarkan pada tiap tingkatan dari struktur gedung tersebut. Gaya gempa dari hasil analisis prosedur dinamik perlu dibandingkan dengan gaya gempa hasil prosedur analisis ELF, maka dari itu gaya gempa dari hasil prosedur analisis ELF perlu diperhitungkan. Langkah dalam perhitungan gaya gempa dengan prosedur analisis ELF dilakukan sebagai berikut :

- Menentukan Periode Fundamental Alami Struktur ( $T$ )

Dalam menentukan nilai gaya geser dasar *seismic* (VELF) peran periode fundamental alami struktur sangatlah penting karena selanjutnya akan menentukan nilai koefisien respons seismic ( $C_s$ ). Periode struktur yang digunakan dapat digunakan sebesar  $T_a$  apabila periode struktur yang lebih akurat tidak dimiliki ( $T_c$ ). Namun, jika periode struktur yang lebih akurat ( $T_c$ ) bisa didapatkan (melalui pemodelan struktur) maka periode struktur yang digunakan harus ditetapkan dengan mengikuti ketentuan berikut ini (lihat juga Gambar 2.3):

- Jika  $T_c > C_u.T_a$  ; maka  $T = C_u.T_a$
- Jika  $T_a < T_c < C_u.T_a$  ; maka  $T = T_c$
- Jika  $T_c < T_a$  ; maka  $T = T_a$



Gambar 2.3 Penentuan Periode Struktur Yang Digunakan

(Sumber: FEMA 481)

Penentuan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) berdasarkan persamaan  $T_a = C_t \cdot h_n^x$ . Dimana ketinggian struktur dilambangkan sebagai  $h_n$  dalam satuan m. Koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan berdasarkan Tabel 2.10 dibawah ini.

Tabel 2.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9

Sumber : SNI 1726:2019

Batas atas periode struktur dalam penentuan nilai koefisien ( $C_u$ ) ditetapkan pada tabel 2.11 dibawah ini.

Tabel 2.11 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Gedung Youth Center di Bengkulu menggunakan struktur beton bertulang pemikul momen sehingga nilai  $C_t$  yang digunakan sebesar 0,0466 dan  $x$  sebesar 0,9. Berdasarkan persamaan yang ada  $T_a = C_t \cdot h_n^x$ , dengan tinggi tingkat bangunan sebesar 18,6188 m maka nilai  $T_a$  didapatkan.  $T_a = C_t \times h_n^x = 0,0466 \times 18,6188^{0,9} = 0,6477 \text{ detik}$

Berdasarkan nilai  $S_{D1}$  sebesar 0,8 g didapatkan koefisien  $C_u = 1,4$  sehingga didapatkan nilai  $T_a = 0,6477 \text{ detik}$ . Setelah nilai  $T_a$  dan  $C_u$  didapatkan secara berturut-turut sebesar 0,6477 dan 1,4 maka,  $T_{max} = C_u \times T_a = 1,4 \times 0,6477 = 0,91 \text{ detik}$  sehingga dari hasil perhitungan diatas didapatkan bahwa periode struktur dengan menggunakan metode analisis beban gempa ekuivalen (ELF) sebesar 0,91 detik.

- Menentukan Koefisien Respons Seismik ( $C_s$ )

Nilai koefisien respons seismik ( $C_s$ ) dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Syarat untuk koefisien respons seismik adalah nilai  $C_s$  berdasarkan persamaan diatas tidak boleh melebihi nilai  $C_s$  dari persamaan berikut :

Jika  $T \leq T_L$ , maka  $C_s = S_{D1} / (T \times (R/I_e))$

Jika  $T > T_L$ , maka  $C_s = (S_{D1} \times T_L) / (T^2 \times (R/I_e))$

Namun nilai  $C_s$  harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \times S_{D1} \times I_e \geq 0,01$$

Berdasarkan perhitungan koefisien respons seismic ( $C_s$ ) pada Gedung Youth Center di Bengkulu didapatkan hasil sebagai berikut:

$$C_s \text{ murni} = SDS / (R / I_e) = 0,100$$

$$C_s \text{ max} = S_{D1} / (T \times (R / I_e)) = 0,1103$$

$$C_s \text{ min} = 0,044 \times SDS \times I_e \geq 0,01 = 0,0352$$

Sehingga, diambil nilai  $C_s = 0,100$

- Menentukan Berat Seismik Efektif (W)

Seluruh beban mati dan beban lainnya yang termasuk dalam daftar berikut ini harus disertakan dalam berat seismik efektif struktur (W):

- Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25% beban hidup lantai (beban hidup lantai di garasi publik dan struktur parkir terbuka, serta beban penyimpanan yang tidak melebihi 5% dari berat seismik efektif pada suatu lantai, tidak perlu disertakan).
- Jika ketentuan untuk partisi disyaratkan dalam desain beban lantai: diambil sebagai yang terbesar diantara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar  $0,48 \text{ kN/m}^2$
- Berat operasional total dari peralatan yang permanen
- Berat dan beban lainnya pada taman atap dan luasan sejenis lainnya.

Pada perancangan Gedung Youth Center di Bengkulu hasil perhitungan berat seismik efektif (W):

• Berat Satuan Lantai Atap Dak

Berat Sendiri Pelat	$= 0,13 \times 24$ $= 3,12 \text{ KN/m}^2$
Plafon 0,1 mm	$= 0,0008 \text{ KN/m}^2$
MEP	$= 0,19 \text{ KN/m}^2$
<i>Water proofing</i>	$= 0,26 \text{ KN/m}^2$
Finishing Adukan 2 cm	$= 0,02 \times 21$ $= 0,0042 \text{ KN/m}^2$
Total <i>Dead Load</i> /m <sup>2</sup>	$= 3,575 \text{ KN/m}^2$
SIDL ( <i>Input midas</i> )	$= 0,455 \text{ KN/m}^2$

• Berat Satuan Lantai 2

Berat Sendiri Pelat	$= 0,13 \times 24$ $= 3,12 \text{ KN/m}^2$
---------------------	---



Plafond 0,1 mm = 0,0008 KN/m<sup>2</sup>

MEP = 0,19 KN/m<sup>2</sup>

Beban Pasir = 0,8 KN/m<sup>2</sup>

Finishing Adukan 2 cm = 0,02 x 21  
= 0,0042 KN/m<sup>2</sup>

Beban Keramik = 0,24 KN/m<sup>2</sup>

Sanitasi = 0,18 KN/m<sup>2</sup>

Total *Dead Load*/m<sup>2</sup> = 4,525 KN/m<sup>2</sup>

SIDL (*Input midas*) = 1,405 KN/m<sup>2</sup>

- Berat Satuan Lantai 1

Berat Sendiri Pelat = 0,13 x 24  
= 3,12 KN/m<sup>2</sup>

Plafond 0,1 mm = 0,0008 KN/m<sup>2</sup>

MEP = 0,19 KN/m<sup>2</sup>

Beban Pasir = 0,8 KN/m<sup>2</sup>

*Finishing* Adukan 2 cm = 0,02 x 21  
= 0,0042 KN/m<sup>2</sup>

Beban Keramik = 0,24 KN/m<sup>2</sup>

Sanitasi = 0,18 KN/m<sup>2</sup>

Total *Dead Load*/m<sup>2</sup> = 4,525 KN/m<sup>2</sup>

SIDL (*Input midas*) = 1,405 KN/m<sup>2</sup>

- Berat Balok

Balok 35 x 70 = 0,35 x 0,7 x 24  
= 4,788 KN/m

Balok 30 x 60 = 0,30 x 0,6 x 24  
= 3,384 KN/m

Balok 25 x 50 = 0,25 x 0,5 x 24  
= 2,22 KN/m

Balok 25 x 45 = 0,25 x 0,45 x 24  
= 1,92 KN/m

- Berat Kolom

$$\begin{aligned} \text{Kolom } 55 \times 55 &= 0,55 \times 0,55 \times 24 \\ &= 7,26 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kolom } 50 \times 50 &= 0,50 \times 0,50 \times 24 \\ &= 6 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kolom } 45 \times 45 &= 0,45 \times 0,45 \times 24 \\ &= 4,86 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kolom } 30 \times 30 &= 0,3 \times 0,3 \times 24 \\ &= 2,16 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

- Berat Lantai 1

$$\begin{aligned} \text{Kolom } 55 \times 55 &= 57 \times 7,26 \times 4 \\ &= 1655,28 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kolom } 50 \times 50 &= 5 \times 6 \times 4 \\ &= 120 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok } 35 \times 70 &= 84 \times 8 \times 4,788 \\ &= 3217,536 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\text{Balok } 25 \times 50 = 1098,593 \text{ KN}$$

$$\text{Pelat} = 2610,099 \text{ KN}$$

$$\text{W1} = 8701,508 \text{ KN}$$

- Berat Lantai 2

$$\begin{aligned} \text{Kolom } 55 \times 55 &= 19 \times 7,26 \times 4 \\ &= 551,76 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kolom } 50 \times 50 &= 38 \times 6 \times 4 \\ &= 912 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok } 30 \times 60 &= 84 \times 8 \times 4,788 \\ &= 2274,048 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\text{Balok } 25 \times 45 = 877,632 \text{ KN}$$

$$\text{Pelat} = 2515,2802 \text{ KN}$$

$$\text{W2} = 7130,7202 \text{ KN}$$

- Berat Lantai 3 Dak

$$\begin{aligned} \text{Kolom } 45 \times 45 &= 27 \times 4,86 \times 4 \\ &= 524,88 \text{ KN} \end{aligned}$$

Balok 30 x 60	= 1109,952 KN
Balok 25 x 45	= 153,6 KN
Pelat	= 145,6 KN
W3	= 1934,032 KN

Pada perancangan gedung Youth Center di Bengkulu, hasil perhitungan berat seismik didapatkan sebesar 17766,26 kN.

- Gaya geser dasar seismik (VELF)

Perhitungan gaya geser dasar seismik dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W \\
 &= 0,1103 \times 17766,26 \\
 &= 1959,411 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

- Beban Gempa Metode Statik Ekuivalen

Dalam mengecek syarat, diperlukan suatu metode sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 K &= 0,75 + 0,5T \\
 &= 0,75 + 0,5 (0,9067) \\
 &= 1,2034
 \end{aligned}$$

- Gaya Seismik Lateral (Fx) di sembarang tingkat

$$F_x = C_{vx} \cdot V$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k}$$

Dimana,

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

$V$  = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur

$w_i$  dan  $w_x$  = bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang diletakkan pada tingkat  $i$  atau  $x$

$h_i$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$  (m)

contoh perhitungan :

$$w \cdot h^k = 1934,03 \cdot (12^{1,2034})$$

$$\begin{aligned}
 &= 38468,401 \text{ KNm} \\
 w.h^k \text{ total} &= 17766,26 \cdot (24^{1,2034}) \\
 &= 171680,409 \text{ KNm} \\
 C_{vx} &= \frac{38468,401}{171680,409} \\
 &= 0,22 \\
 F_x &= C_{vx} \cdot V \\
 &= 0,22 \cdot 1959,411 \\
 &= 439,045 \text{ KN} \\
 V_x &= 439,045 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan beban gempa lateral dan gempa vertikal pada bangunan Youth Center dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Rekapitulasi Beban Gempa Lateral dan Gempa Vertikal Pada Bangunan

Lantai	W (KN)	H (m)	w.h <sup>k</sup>	C <sub>vx</sub>	F <sub>x</sub>	V <sub>x</sub>
LT3	1934.03	12	38468.401	0.22	439.045	439.05
LT2	7130.72	8	87070.932	0.51	993.75	1432.8
LT1	8701.51	4	46141.076	0.27	526.61	1959.41
TOTAL	17766.26	24	171680.409	1	1959.4	3831.3

Setelah didapatkan beban gempa maka perlu menghitung pengaruh horizontal dan vertikal dengan cara sebagai berikut:

$$E_h = \rho \times Q$$

Keterangan:

$\rho$  = faktor redudansi (untuk KDS D,E,F digunakan 1,3)

Q = pengaruh gaya horizontal dari V

$$\begin{aligned} \text{Pengaruh gempa horizontal (Eh)} &= \rho \times Q \\ &= 1,3 \times 1959,411 \\ &= 2547,234 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pengaruh gempa vertikal (Ev)} &= 0,2 \times Sds \times D \\ &= 0,2 \times 0,8 D \\ &= 0,16D \end{aligned}$$

### 2.3.2 Kombinasi Beban Rencana

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 5.3.1 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya telah dicantumkan kombinasi beban ultimit sebagai berikut:

1. 1,4DL
2. 1,2DL + 1,6LL + 0,5(Lr atau R)
3. 1,2DL + 1,6 (Lr atau R) + (1,0L atau 0,5W)
4. 1,2 DL + 1,0W + 1,0LL + 0,5(Lr atau R)
5. 1,2DL + 1,0E + 1,0LL
6. 0,9DL + 1,0W
7. 0,9DL + 1,0E

Kombinasi beban gempa telah diatur khusus pada SNI 1726:2019 pasal 7.4 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, yang dimana pada kombinasi beban gempa diatas poin 5 dan 7 merupakan salah satu kombinasi beban gempa sedangkan, pada SNI 2847:2019 Pasal 4.2.3 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan mencantumkan kombinasi beban layan yaitu sebagai berikut:

1. DL
2. DL + LL
3. DL + (Lr atau R)
4. DL + 0,75LL + 0,75(Lr atau R)
5. DL + 0,6W

6.  $DL + 0,75(0,6W) + 0,75 LL + 0,75 (Lr \text{ atau } R)$

7.  $0,6DL + 0,6W$

Keterangan:

DL = Beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan)

LL = beban hidup

Lr = beban hidup pada struktur atap

R = beban hujan

W = beban angin

Ex = beban gempa arah X

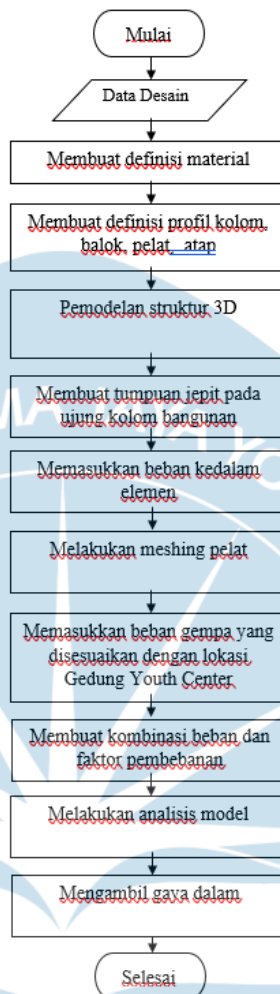
Ey = beban gempa arah y

P = faktor redundansi

SDS = parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek 0,2 detik

#### 2.4 Pemodelan Struktur

Struktur gedung Youth Center di Bengkulu dimodelkan untuk mengetahui perilaku struktur dan gaya dalam pada setiap elemen struktur akibat beban yang bekerja. Gaya dalam yang didapatkan akan menjadi dasar untuk menentukan dimensi penampang struktur. Desain struktur gedung Youth Center menggunakan Sistem struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Pemodelan struktur dilakukan dalam bentuk 3 dimensi menggunakan *software MidasGen*. *Flowchart* langkah pemodelan struktur dengan menggunakan *MidasGen* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Flowchart* Pemodelan Struktur

### 1. Definisi Material

Bangunan Gedung Youth Center menggunakan material sebagai berikut:

Baja ( $f_y$ ) = 240 MPa

Beton ( $f_c$ ) = 35 MPa dan 25 MPa

Baja Tulangan Ulir ( $f_y$ ) = 420 MPa

Baja Tulangan Polos ( $f_y$ ) = 280 MPa

Hasil dari penentuan material dimasukkan ke dalam *software MidasGen* dengan cara memilih *define material* di *software MidasGen*.

### 2. Definisi Profil Balok dan Kolom

Menurut Tabel 9.3.1.1 di SNI 2847:2019, tinggi balok minimum non prategang pada kondisi perlekatan sederhana panjang bentang perlu di bagi

16 untuk memperoleh tinggi minimum balok sedangkan untuk balok yang menerus di dua sisinya bentang perlu dibagi dengan 21.

Balok Induk Lantai 3:

Bentang terpanjang	= 8000 mm
h (min)	= $1/16L$ (SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1)
	= 500 mm
Digunakan	= 600 mm
Lebar balok	= $\frac{1}{2} h$
	= 300 mm
	= $0,3h$
	= 180 mm
	= 250 mm
Digunakan	= 300 mm
Lebar kolom	= lebar balok + ( 2 x 50)
	= $300+(2 \times 50)$
	= 400 mm
Digunakan	= 450 mm

Balok Induk Lantai 2:

Bentang terpanjang	= 8000 mm
h (min)	= $1/16L$
	= 500 mm
Digunakan	= 600 mm
Lebar balok	= $\frac{1}{2} h$
	= 300 mm
	= $0,3h$
	= 180 mm
	= 250 mm
Digunakan	= 300 mm
Lebar kolom	= lebar balok + ( 2 x 50)



$$= 300 + (2 \times 50)$$

$$= 400 \text{ mm}$$

Digunakan  $= 500 \text{ mm}$

Balok Induk Lantai 1:

Bentang terpanjang  $= 8000 \text{ mm}$

$h$  (min)  $= 1/16L$

$$= 500 \text{ mm}$$

Digunakan  $= 700 \text{ mm}$

Lebar balok  $= \frac{1}{2} h$

$$= 350 \text{ mm}$$

$$= 0,3h$$

$$= 210 \text{ mm}$$

$$= 250 \text{ mm}$$

Digunakan  $= 350 \text{ mm}$

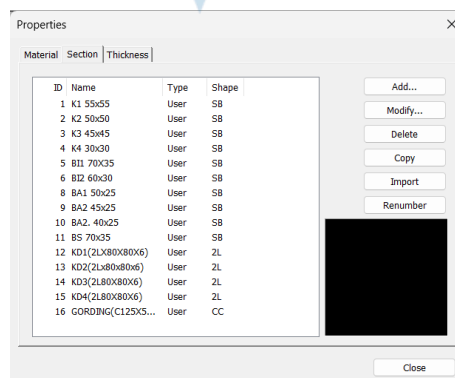
Lebar kolom  $= \text{lebar balok} + (2 \times 50)$

$$= 350 + (2 \times 50)$$

$$= 450 \text{ mm}$$

Digunakan  $= 550 \text{ mm}$

Dari hasil perhitungan desain material maka dapat dilakukan pembuatan definisi elemen pada *software MidasGen*. Rekapitulasi definisi elemen dapat dilihat pada Gambar 2.5. sedangkan untuk detail elemen balok dan kolom dapat dilihat pada Gambar 2.6 hingga Gambar 2.13.



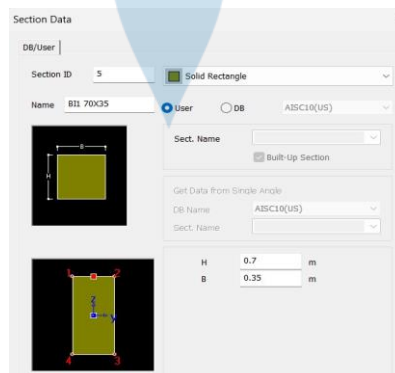
Gambar 2.5 Section Properties

Pada elemen balok sloof di *MidasGen* dimodelkan dengan memilih penampang solid berbentuk segiempat dengan sisi panjang dan pendek menyesuaikan *preliminary design* yang telah dibuat sebelumnya. Detail penampang balok sloof dengan ukuran 350 x 700 dapat dilihat pada Gambar 2.6.

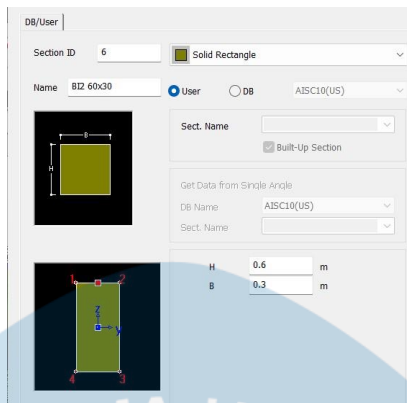


Gambar 2.6 *Section Properties* Balok Sloof 35 x 70

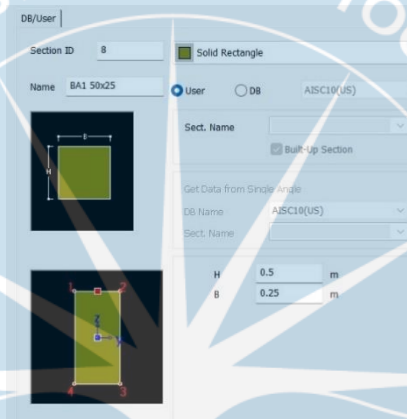
Elemen balok induk dan balok anak di *MidasGen* dimodelkan sama dengan balok sloof yakni memilih penampang solid berbentuk segiempat dengan sisi panjang dan pendek menyesuaikan *preliminary design*. Detail penampang balok induk 1 dan balok induk 2 dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan 2.8 sedangkan balok anak dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan 2.10.



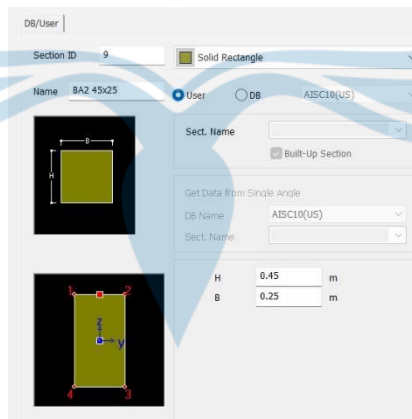
Gambar 2.7 *Section Properties* Balok Induk 35 x 70



Gambar 2.8 *Section Properties* Balok Induk 30 x 60

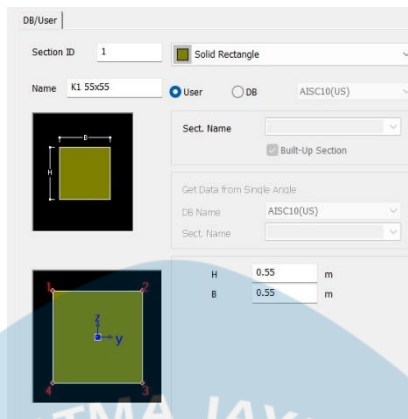


Gambar 2.9 *Section Properties* Balok Anak 25 x 50

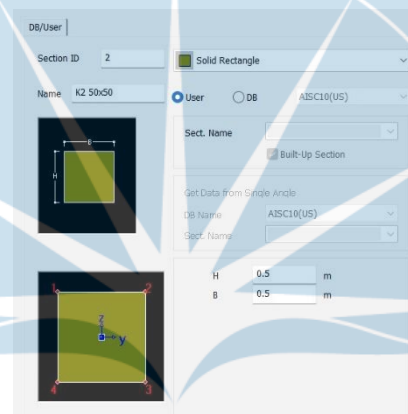


Gambar 2.10 *Section Properties* Balok Anak 25 x 45

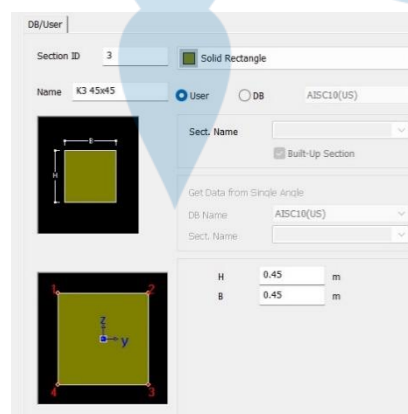
Elemen kolom di *MidasGen* dimodelkan sama dengan balok. Detail penampang kolom dapat dilihat pada Gambar 2.11 dan 2.13.



Gambar 2.11 *Section Properties* Kolom 55 x 55



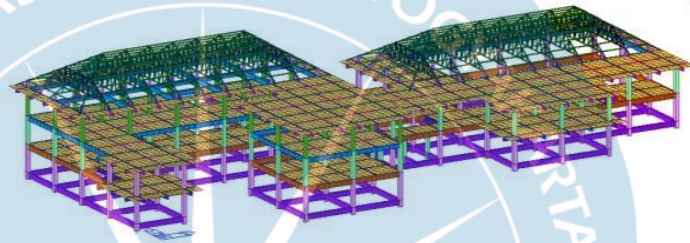
Gambar 2.12 *Section Properties* Kolom 50 x 50



Gambar 2.13 *Section Properties* Kolom 45 x 45

### 3. Pemodelan Struktur 3 Dimensi

Pemodelan 3 Dimensi dapat dilakukan setelah material dan *section property* dimasukkan ke dalam *software MidasGen*. Model memuat seluruh ukuran balok, kolom dan pelat. Tulangan tidak dimodelkan karena *MidasGen* menggunakan metode *to be design*. Pemodelan 3D struktur Gedung Youth Center dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Model 3D Struktur

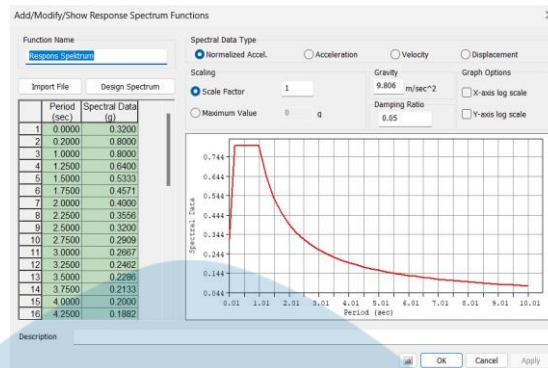
### 4. Memasukkan beban pada elemen struktur

Beban pada elemen struktur Gedung Youth Center terdiri dari beberapa tipe antara lain:

- Beban mati
- Beban mati tambahan
- Beban hidup
- Beban gempa

### 5. Memasukkan beban gempa

Beban gempa yang dimasukkan ke dalam *software* merupakan beban hasil dari perhitungan gempa berdasarkan KDS yang didapatkan dari lokasi Gedung Youth Center. Setelah selesai dikalkulasi maka dapat dilakukan input data ke dalam perangkat lunak *MidasGen* atau dapat melalui opsi respons spektrum. Setelah data dimasukkan maka akan terbentuk grafik dalam *software* seperti Gambar 2.15.



Gambar 2.15 *Input* Respon Spektrum

#### 6. Membuat Kombinasi dan Faktor Pembebanan

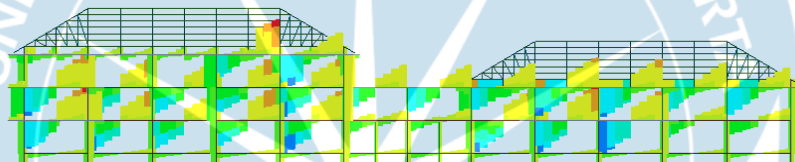
Kombinasi beban yang digunakan dalam pemodelan struktur Gedung Youth Center berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.4 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung. Berikut kombinasi beban yang telah dipengaruhi gempa horizontal dan vertikal:

- 1,4D
- 1,2D + 1,6L
- (1,2 + 0,16)D + 1,0L + 1,3 Ex + 0,39 Ey
- (1,2 + 0,16)D + 1,0L + 1,3 Ex - 0,39 Ey
- (1,2 + 0,16)D + 1,0L - 1,3 Ex + 0,39 Ey
- (1,2 + 0,16)D + 1,0L - 1,3 Ex - 0,39 Ey
- (1,2 + 0,16)D + 1,0L + 0,39 Ex + 1,3 Ey
- (1,2 + 0,16)D + 1,0L + 0,39 Ex - 1,3 Ey
- (1,2 + 0,16)D + 1,0L - 0,39 Ex + 1,3 Ey
- (1,2 + 0,16)D + 1,0L - 0,39 Ex - 1,3 Ey
- (0,9 - 0,16)D + 1,3Ex + 0,39Ey
- (0,9 - 0,16)D + 1,3Ex - 0,39Ey
- (0,9 - 0,16)D - 1,3Ex + 0,39Ey
- (0,9 - 0,16)D - 1,3Ex - 0,39Ey
- (0,9 - 0,16)D + 0,39Ex + 1,3Ey
- (0,9 - 0,16)D + 0,39Ex - 1,3Ey

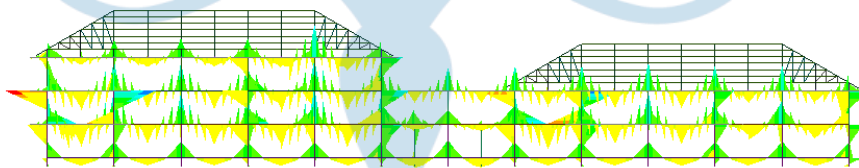
- $(0,9 - 0,16)D - 0,39Ex + 1,3Ey$
- $(0,9 - 0,16)D - 0,39Ex - 1,3Ey$

#### 7. *Running Model*

Struktur yang telah dimodelkan dapat dilakukan *running* untuk memperoleh gaya dalam yang bekerja pada elemen struktur khususnya balok dan kolom. Hasil *running* dari beban *envelope* dapat dilihat pada Gambar 2.16 dan Gambar 2.17. Gambar 2.16 merupakan *Shear Force Diagram (SFD)* sedangkan Gambar 2.17 adalah *Bending Moment Diagram (BMD)*.



Gambar 2.16 SFD Pada Bangunan Youth Center



Gambar 2.17 BMD Pada Bangunan Youth Center

#### 8. *Output Gaya Dalam*

Setelah gaya dalam didapatkan maka gaya dalam dapat di-*export* ke perangkat lunak *excel* untuk dilakukan analisis struktur. Gaya dalam yang diambil adalah momen, geser, dan aksial.

## 2.5 Pengecekan Simpangan Antar Lantai

Dalam menjamin stabilitas struktur, mencegah kerusakan elemen non struktural dan kenyamanan bagi pengguna bangunan maka perlu dilakukan pengecekan simpangan lateral antar lantai (*story drift*). Simpangan antar lantai (*story drift*) pada arah x dan y harus kurang dari simpangan antar lantai izin sesuai dengan syarat SNI 1726:2012. Pada Tabel 2.13 disajikan pengecekan simpangan antar lantai pada arah sumbu x dan sumbu y. Bangunan Youth Center masuk ke dalam bangunan kategori resiko II sehingga simpangan antar tingkat izin yang digunakan adalah  $0,020h_x$ .

Lantai Dak Atap memiliki tinggi antar lantai sebesar 5620 mm dengan data sebagai berikut:

Perpindahan akibat gempa :  $\delta eX = 22,4 \text{ mm}$  ;  $\delta eY = 24,5 \text{ mm}$

Perpindahan pusat massa ditingkat X :

$$\delta X = \frac{\delta eX \cdot Cd}{Ie}$$

dimana,

$Cd$  = faktor pembesaran defleksi

$\delta eX$  = defleksi akibat gaya gempa lateral pada lokasi lantai yang ditinjau

$Ie$  = faktor keutamaan gempa

$$\begin{aligned}\delta X &= 22,4 \times 5,5/1 \\ &= 123,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

Perpindahan pusat massa ditingkat Y:

$$\delta Y = \frac{\delta eY \cdot Cd}{Ie}$$

$$\begin{aligned}\delta Y &= 24,5 \times 5,5/1 \\ &= 134,750 \text{ mm}\end{aligned}$$

*Story drift* :

Syarat *Story drift* < *Drift limit*

$$\Delta X = 52,25 \text{ mm} < 0,020h_x$$

$$\Delta X = 52,25 \text{ mm} < 0,020/1.3 \times 5620 \text{ (mm)}$$

$$\Delta X = 52,25 \text{ mm} < 86,462 \text{ mm (AMAN)}$$



$$\Delta_Y = 55,55 \text{ mm} < 0,020h_x$$

$$\Delta_Y = 55,55 \text{ mm} < 0,020/1.3 \times 5620 \text{ (mm)}$$

$$\Delta_Y = 55,55 \text{ mm} < 86,462 \text{ mm (AMAN)}$$

Dari perhitungan *story drift* lantai dak dapat disimpulkan simpangan lateral antar lantai memenuhi syarat. Simpangan antar lantai pada lantai lainnya dapat dihitung dengan cara yang sama. Rekapitulasi simpangan antar lantai pada lantai lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.13.

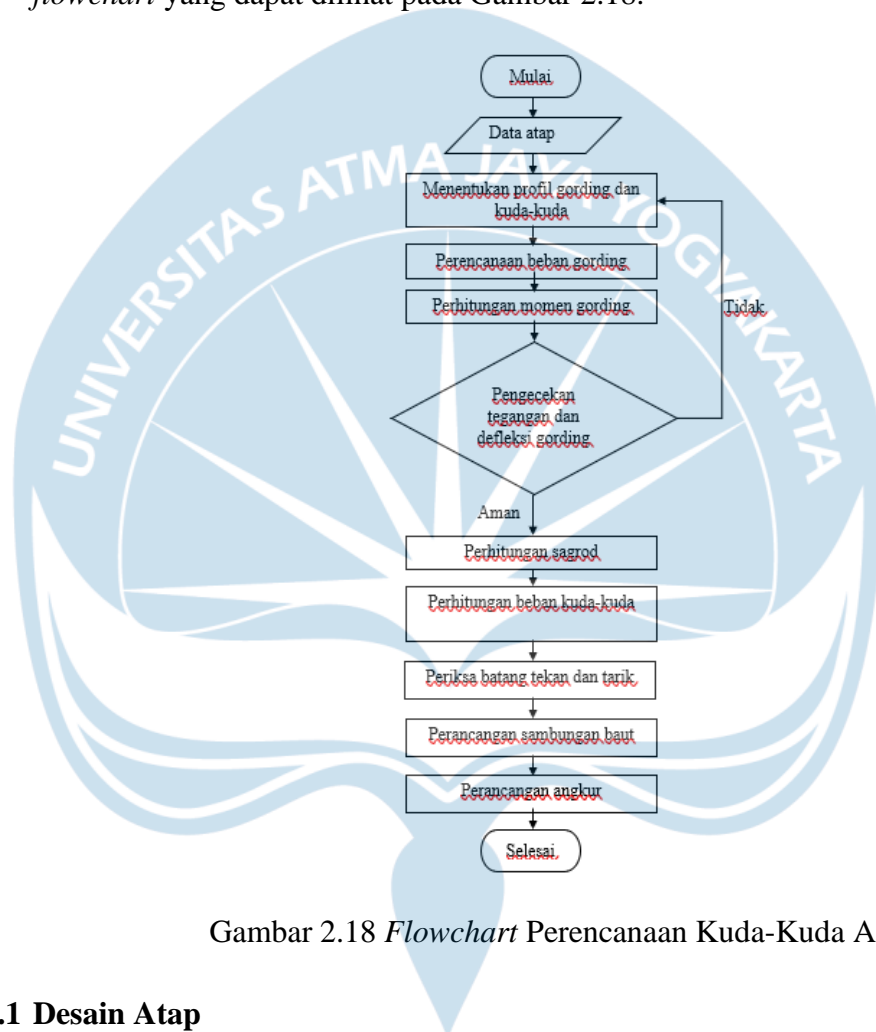
Tabel 2.13 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai

Story	Height	Defleksi akibat gempa		Defleksi Pusat Massa ditingkat X dan Y		Story Drift		Drift Limit	Cek
		$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_x$	$\delta_y$	$\Delta_x$	$\Delta_y$		
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
Lantai Dak Atap	5620	22.4	24.5	123.200	134.750	52.250	55.550	86.462	OK
Lantai 3	4000	12.9	14.4	70.950	79.200	35.200	38.500	61.538	OK
Lantai 2	4000	6.5	7.4	35.750	40.700	33.550	37.950	61.538	OK
Lantai 1	4000	0.4	0.5	2.200	2.750	2.200	2.750	61.538	OK
	1000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	15.385	OK

## 2.6 Perancangan Struktur Atap

Perancangan desain atap diatur dalam SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Pada perancangan struktur atap Gedung Youth Center di Bengkulu diawali dengan penentuan profil baja pada gording dan elemen kuda-kuda. Bila profil telah ditetapkan maka dapat dilanjutkan pengecekan profil kuda-kuda dan gording. Apabila kapasitas atap masih belum memenuhi syarat maka perlu dilakukan desain ulang. Selain pengecekan kapasitas elemen gording dan kuda-kuda, dilakukan perhitungan sambungan. Sambungan merupakan salah satu variabel penting yang harus

diperhatikan kebutuhannya. Atap Youth Center menggunakan sambungan baut di setiap sambungan antar batang kuda-kuda. Selain sambungan perlu dilakukan perhitungan angkur untuk menghubungkan profil baja dengan kolom pedestal. Dalam perancangan atap Gedung Youth Center digunakan *flowchart* yang dapat dilihat pada Gambar 2.18.

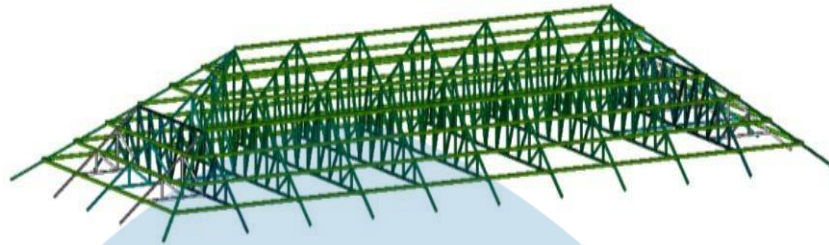


Gambar 2.18 *Flowchart* Perencanaan Kuda-Kuda Atap

### 2.6.1 Desain Atap

Perancangan atap Gedung Youth Center di Bengkulu menggunakan kuda-kuda baja dengan bentang 16 meter seperti pada gambar 2.19. Mutu material kuda-kuda pada struktur atap gedung ini adalah Baja 37 dengan profil *double angle* (2L) berdimensi 80x80x6. Gording dari atap bangunan ini menggunakan mutu Baja 37 dengan profil kanal (CNP) 125x50x20 serta menggunakan penutup atap metal FUMIRASPAN L-700 t=8mm. Penutup atap dirancang dengan menggunakan metal dengan tujuan agar beban yang

diterima kuda-kuda tidak sebesar beban saat menggunakan atap konvensional.



Gambar 2.19 Struktur Atap Gedung Youth Center di Bengkulu

Perhitungan detail atap dapat dilakukan dengan langkah dan persamaan berikut:

1. Perhitungan Gording:

Dimensi Gording yang digunakan adalah Baja C125x50x20 dengan tebal 2 mm. Material Profil CNP dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Profil CNP 125x50x20x2

Profil Gording			
C 125X50x20 tebal 2 mm			
Dimensi	H	125	mm
	B	50	mm
	C	20	mm
Ketebalan	t	2	mm
Luas Area	A	504	mm <sup>2</sup>
Weight Unit	W	3,95	kg/m
Momen inersia	I <sub>x</sub>	1200000	mm <sup>4</sup>
	I <sub>y</sub>	180000	mm <sup>4</sup>
Modulus	Z <sub>x</sub>	19300	mm <sup>3</sup>
	Z <sub>y</sub>	5500	mm <sup>3</sup>
Radius girasi	r <sub>x</sub>	48,9	mm
	r <sub>y</sub>	19,1	mm
Pusat gravitasi	C <sub>y</sub>	16,9	mm
Pusat geser	X <sub>0</sub>	41,5	mm
Konstanta torsi	J	6720000	mm <sup>4</sup>
Konstanta Kelengkungan	C <sub>w</sub>	675000000	mm <sup>6</sup>

Sudut atap ( $\alpha$ )	= 30°
Bentang gording (L)	= 4 m
Berat atap	= 6,56 Kg/ m <sup>2</sup>
Tegangan leleh baja (Fy)	= 240 MPa
Modulus Elastisitas (E)	= 200000 MPa
Poisson ratio	= 0,3

- Perhitungan *Dead Load* (DL)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri gording} &= 3,95 \text{ Kg/m} \\ &= 0,0395 \text{ KN/m}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat atap} &= \frac{\text{jarak gording}}{\cos \alpha} \times \frac{\text{berat atap}}{100} \\ &= \frac{1,54}{\cos(30)} \times \frac{6,56}{100} \\ &= 0,1166 \text{ KN/m}' \end{aligned}$$

$$\text{Dead Load (q)} = 0,2561 \text{ KN/m}'$$

- Perhitungan *Live Load* (LL)

Beban hidup (*live load*) diasumsikan sebesar 1 KN.

- Perhitungan rencana momen gording

Beban Gording arah sumbu 3

$$\begin{aligned} \text{M3, Dead} &= \frac{1}{8} \times q (\sin 30) L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,2561 \frac{1}{2} \left(\frac{4}{3}\right)^2 \\ &= 0,0285 \text{ KNm}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M3, Live} &= \frac{1}{4} \times P (\sin 30) L^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 1 \frac{1}{2} \left(\frac{4}{3}\right)^2 \\ &= 0,1667 \text{ KNm}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M3, Kombinasi 1} &= 1,4 \times \text{M3,D} \\ &= 1,4 \times 0,0285 \\ &= 0,0398 \text{ KNm}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M3, Kombinasi 2} &= 1,2\text{M3,D} + 1,6\text{M3,L} \\ &= 1,2 (0,0285) + 1,6 (0,1667) \\ &= 0,3008 \text{ KNm}' \end{aligned}$$

Beban gording arah sumbu 2

$$\begin{aligned} M2, \text{ Dead} &= \frac{1}{8} \times q (\cos 30) L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,2561 \frac{1}{2} \sqrt{3} 4^2 \\ &= 0,4436 \text{ KNm}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2, \text{ Live} &= \frac{1}{4} \times P (\cos 30) L^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 1 \frac{1}{2} \sqrt{3} 4^2 \\ &= 0,8660 \text{ KNm}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2, \text{ Kombinasi 1} &= 1,4 \times M2, \text{ D} \\ &= 1,4 \times 0,4436 \\ &= 0,6211 \text{ KNm}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2, \text{ Kombinasi 2} &= 1,2M2, \text{ D} + 1,6M2, \text{ L} \\ &= 1,2 (0,4436) + 1,6 (0,8660) \\ &= 1,9180 \text{ KNm}' \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai momen yang digunakan adalah nilai yang terbesar sehingga nilai momen arah sumbu 3 dan arah sumbu 2 yang digunakan secara berturut-turut adalah 0,3008 KNm' dan 1,9180 KNm'.

- Perhitungan tegangan gording

Material yang digunakan untuk gording pada struktur atap adalah C125x50x20 dengan tebal 2 mm. Nilai momen inersia sudah diketahui dalam tabel 2.16.

$$I_x = I_3 = 120 \text{ cm}^4 = 1200000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = I_2 = 18 \text{ cm}^4 = 180000 \text{ mm}^4$$

$$Z_x = W_3 = 19,3 \text{ cm}^3 = 19300 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = W_2 = 5,5 \text{ cm}^3 = 5500 \text{ mm}^3$$

$$\text{Faktor reduksi} = 0,90$$

$$\text{Rumus tegangan gording: } fb = \frac{M(3,U)}{\phi W_3} + \frac{M(2,U)}{\phi W_2} \leq F_y$$

$$fb = \frac{0,3008 \times 10^6}{0,9 \cdot 19300} + \frac{1,9180 \times 10^6}{0,9 \cdot 5500} \leq 240$$

$$fb = 171,1901 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa (AMAN)}$$

Berdasarkan syarat diatas maka tegangan gording memenuhi syarat dan dinyatakan aman.

- Perhitungan defleksi gording

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha L^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha L^3}{EI} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,2561 \cos(30) 4000^4}{200000 \cdot 1200000} + \frac{1}{48} \times \frac{1 \cos(30) 4000^3}{200000 \cdot 1200000} \\ &= 3,0855 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_3 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha}{EI} \times \left(\frac{L}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha}{EI} \times \left(\frac{L}{3}\right)^3 \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,2561 \sin(30)}{200000 \cdot 180000} \times \left(\frac{4000}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{1 \sin(30)}{200000 \cdot 180000} \times \left(\frac{4000}{3}\right)^3 \\ &= 0,16491 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{\delta_3^2 + \delta_2^2} \leq \frac{1}{240} L \\ &= \sqrt{0,16491^2 + 3,0855^2} \leq \frac{1}{240} 4000 \\ &= 3,08989 \text{ mm} \leq 16,67 \text{ mm (AMAN)} \end{aligned}$$

Berdasarkan syarat diatas maka defleksi gording memenuhi syarat dan dinyatakan aman.

- Perencanaan Sagrod

$$\text{Jumlah gording di bawah nok} = 7$$

Rumus gaya sagrod:

$$\begin{aligned} F_{t,D} &= n \left(\frac{L}{3} \times q \times \sin \alpha\right) \\ &= 7 \left(\frac{4}{3} \times 0,2561 \times \sin 30\right) \\ &= 1,19524 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{t,L} &= \frac{n}{2} \times P \times \sin \alpha \\ &= \frac{7}{2} \times 1 \times \sin 30 \\ &= 1,75 \text{ KN} \end{aligned}$$

Kombinasi Pembebanan:

$$\begin{aligned} F_{t,U} &= 1,4 F_{t,D} \\ &= 1,4 \times 1,19524 \end{aligned}$$

$$= 1,6733 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} F_{t,U} &= 1,2F_{t,D} + 1,6F_{t,L} \\ &= 1,2(1,19524) + 1,6(1,75) \\ &= 4,2343 \text{ KN} \end{aligned}$$

Luas batang sagrod yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_{sr} &= \frac{F_t \cdot 10^3}{\phi F_y} \\ &= \frac{4,2343 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 240} \\ &= 19,6032 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diameter Sagrod:

$$\begin{aligned} A_{sr} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ 19,6032 &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ D &= 4,99 \text{ mm} \approx 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan sagrod maka luas sagrod yang dibutuhkan adalah  $19,6032 \text{ mm}^2$  dengan diameter sagrod sebesar 10 mm.

## 2. Perhitungan Beban Kuda – Kuda

$$\begin{aligned} \text{Jarak gording (a)} &= 1,333 \text{ m} \\ \text{Jarak tritisan (b)} &= 0,5 \text{ m} \\ \text{Berat kuda-kuda} &= 7,32 \text{ kg/m}' \\ &= 0,0732 \text{ KN/m}' \end{aligned}$$

Beban P1:

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri kuda-kuda} &= (1,3333/2) (0,0732) = 0,0488 \text{ KN} \\ \text{Berat gording} &= (0,0395)(4) = 0,1580 \text{ KN} \\ \text{Berat atap} &= \left( \frac{1,33}{2} + 0,5 \right) \times 4 \times 0,1166 = 0,6284 \text{ KN} \\ \text{Berat plafon} &= \left( \frac{1,33}{2} + 0,5 \right) \times 4 \times 0,1 = 0,4667 \text{ KN} \\ \text{Beban P1 (SIDL)} &= 1,3019 \text{ KN} \end{aligned}$$

Beban P2 :

$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} = (1,3333)(0,0732) = 0,0976 \text{ KN}$$

$$\text{Berat gording} = (0,0395)(4) = 0,1580 \text{ KN}$$

$$\text{Berat atap} = \left(\frac{1,3333}{\cos 30}\right) \times 4 \times 0,1160 = 0,7182 \text{ KN}$$

$$\text{Berat plafon} = 1,3333 \times 4 \times 0,1 = 0,5333 \text{ KN}$$

$$\text{Beban P2 (SIDL)} = 1,5071 \text{ KN}$$

Beban P3:

$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} = (1,3333)(0,0732) = 0,0976 \text{ KN}$$

$$\text{Berat gording} = (2)(0,0395)(4) = 0,3160 \text{ KN}$$

$$\text{Berat atap} = \left(\frac{1,3333}{\cos 30}\right) \times 4 \times 0,1160 = 0,7182 \text{ KN}$$

$$\text{Berat plafon} = 1,3333 \times 4 \times 0,1 = 0,5333 \text{ KN}$$

$$\text{Beban P3 (SIDL)} = 1,6651 \text{ KN}$$

Beban angin ditentukan melalui koefisien angin tiup dan angin hisap. Berikut perhitungan beban angin yang dimasukkan ke joint rangka kuda-kuda atap Gedung Youth Center.

$$\begin{aligned} \text{Beban W1} &= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \frac{\left(\frac{1,33}{2}+0,5\right)}{\cos 30} \times 0,2 \times 4 \times 0,25 \\ &= 0,2694 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban W2} &= \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \frac{1,33}{\cos 30} \times 0,2 \times 4 \times 0,25 \\ &= 0,3079 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban W3} &= \frac{1}{2} \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \frac{1}{2} \frac{1,33}{\cos 30} \times 0,2 \times 4 \times 0,25 \\ &= 0,1540 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban W4} &= \frac{1}{2} \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L \times Q_w \\ &= \frac{1}{2} \frac{1,33}{\cos 30} \times -0,6 \times 4 \times 0,25 \end{aligned}$$



$$= -0,4619 \text{ KN}$$

Beban W5

$$\begin{aligned} &= \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L \times Q_w \\ &= \frac{1,33}{\cos 30} \times -0,6 \times 4 \times 0,25 \\ &= -0,9238 \text{ KN} \end{aligned}$$

Beban W6

$$\begin{aligned} &= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L \times Q_w \\ &= \frac{\left(\frac{1,33}{2}+0,5\right)}{\cos 30} \times -0,6 \times 4 \times 0,25 \\ &= -0,8083 \text{ KN} \end{aligned}$$

### 3. Perhitungan kapasitas atap

Profil L80x80x6

$$A = 923 \text{ mm}^2$$

$$I_x = I_y = 564000 \text{ mm}^4$$

$$i_x = i_y = 24,6 \text{ mm}$$

$$C_x = C_y = 21,8 \text{ mm}$$

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

$$\text{Konstanta torsi (J)} = 11088 \text{ mm}^3$$

$$\text{Modulus Geser Baja (G)} = 77200$$

Perhitungan properti profil:

$$\begin{aligned} A_g &= (2 \times 9,23 \times 100) \\ &= 1846 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{xg} &= 2 \times 564000 \\ &= 1128000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{yg} &= I_y + A_g(C_y + t_p/2)^2 \\ &= (564000 + 1846(21,8 + 10/2)^2) \\ &= 1889871,04 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$r_{xg} = 24,6 \text{ mm}$$

$$r_{yg} = \sqrt{\frac{I_{yg}}{A_{profil}}}$$

$$= \sqrt{\frac{1889871,04}{1846}}$$

$$= 31,9963 \text{ mm}$$

$$X_0 = 0 \text{ mm}$$

$$Y_0 = C_y - \frac{t}{2}$$

$$= 21,8 - \frac{10}{2}$$

$$= 16,8 \text{ mm}$$

$$\bar{r}_0 = \frac{I_x g + I_y g}{A} + X_0^2 + Y_0^2$$

$$= \frac{1128000 + 1889871,04}{1846} + 0^2 + 16,8^2$$

$$= 1917,0564 \text{ mm}^2$$

$$H = 1 - \frac{X_0^2 + Y_0^2}{\bar{r}_0}$$

$$= 1 - \frac{0^2 + 16,8^2}{1917,0564}$$

$$= 0,8528$$

Dari hasil pemodelan *midas* didapatkan gaya dalam pada batang interior dan eksterior dengan kombinasi beban ultimit.

Batang eksterior 1 – 20:

$$\text{Batang 1 (batang tarik)} = 28,3043 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 24 (batang tekan)} = 32,7497 \text{ KN}$$

Batang interior 21 – 37:

$$\text{Batang 35 (batang tarik)} = 17,1398 \text{ KN}$$

$$\text{Batang 36 (batang tekan)} = 8,4812 \text{ KN}$$

#### 4. Pemeriksaan batang interior :

Pemeriksaan Tekuk Lentur

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{80}{6} = 13,33$$

$$\lambda_r = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 12,990$$

$$\lambda = 13,33 > \lambda_r = 12,99$$

Maka, penampang dapat dikategorikan sebagai penampang langsing.

Pemeriksaan tekuk lentur terhadap sumbu x-x (batang interior tekan):

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 4073,6}{24,6} = 165,5935$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{165,5935^2} = 72,0432 \text{ MPa}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,966$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{72,0432} = 3,3313 > 2,25; \text{ maka } F_{cr} = 0,877 F_e$$

Syarat:

$$\frac{KL}{r_x} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}; \text{ maka } F_{cr} = 0,877 F_e$$

$$\frac{KL}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}; \text{ maka } F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y$$

$$\text{Karena } \frac{KL}{r_x} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 165,5935 > 135,966; \text{ maka } F_{cr} = 0,877 F_e$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 0,877 F_e \\ &= 0,877 (72,0432) \\ &= 63,1818 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi

Jarak antar penghubung (a) = 4073,6 mm

$$\begin{aligned} a/r &= 4073,6/24,6 \\ &= 165,5935 > 40; \text{ maka digunakan } \left(\frac{KL}{r}\right)_m \end{aligned}$$

Untuk sambungan yang dibaut kembang penuh:

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

Dengan:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \text{rasio kelangsingan modifikasi dari komponen struktur}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right) = \text{rasio kelangsingan dari komponen struktur}$$

- $K_i$  = 0,5 untuk profil siku yang disusun saling membelakangi  
 = 0,7 untuk profil kanal yang saling membelakangi  
 = 0,86 untuk semua kasus lainnya  
 $a$  = jarak antar penghubung (mm)  
 $r_i$  = radius girasi minimum setiap komponen (mm)

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{165,5935^2 + \left(\frac{0,5 \cdot 4073,6}{24,6}\right)^2}$$

$$= 202,8098 > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,966$$

Karena  $\left(\frac{KL}{r}\right)_m > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  ; maka  $F_{cr} = 0,877F_e$

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

$$= \frac{\pi^2 \times 200000}{202,8098^2}$$

$$= 48,0288 \text{ MPa}$$

$$F_{cry} = 0,877F_e$$

$$= 0,877 (48,0288) = 42,1212 \text{ MPa}$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g \times r_0^2}$$

$$= \frac{77200 \times 11088}{1846 \times 1917,0564}$$

$$= 241,8822 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot F_{cry} \cdot F_{crz} \cdot H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}}\right]$$

$$= \left(\frac{42,1212 + 241,8822}{2(0,8528)}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 42,1212 \cdot 241,8822 \cdot 0,8528}{(42,1212 + 241,8822)^2}}\right]$$

$$= 40,8961 \text{ MPa}$$

Periksa kekuatan tekan desain

Pemeriksaan tekuk lentur didapatkan  $F_{cr} = 63,1818 \text{ MPa}$

Pemeriksaan tekuk lentur torsi didapatkan  $F_{cr} = 40,8961 \text{ MPa}$

Dari kedua data di atas untuk nilai  $F_{cr}$  dipilih yang terkecil yaitu sebesar 40,8961 MPa. Setelah didapatkan nilai  $F_{cr}$  maka dapat dicari Kuat rencana

dari profil batang tekan. Kuat rencana dapat dihitung dengan memperhitungkan variabel luas penampang,  $F_{cr}$  dan faktor reduksi.

$$\begin{aligned}\phi_c P_n &= 0,9 \times F_{cr} \times A_g \\ &= 0,9 \times 40,8961 \times 1846 \\ &= 67,9448 \text{ KN} > P_u = 8,4812 \text{ KN (AMAN)}\end{aligned}$$

Pemeriksaan batang interior tarik

$$\lambda = \frac{L}{r} = \frac{4619}{24,6} = 187,7642 < 300 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,9 A_g \times F_y \\ &= 0,9 \times 1846 \times 240 \\ &= 398,736 \text{ KN} > P_u = 17,1398 \text{ KN (AMAN)}\end{aligned}$$

#### 5. Pemeriksaan batang eksterior

Pemeriksaan tekuk lentur terhadap sumbu x-x (batang tekan):

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 1539,8}{24,6} = 62,5935$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{62,5935^2} = 504,2209 \text{ MPa}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,966$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{504,2209}$$

$$= 0,4760 < 2,25; \text{ maka } F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

Syarat:

$$\frac{KL}{r_x} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}; \text{ maka } F_{cr} = 0,877 F_e$$

$$\frac{KL}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}; \text{ maka } F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

$$\text{Karena } \frac{KL}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 62,5935 < 135,966 ; \text{ maka } F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= \left[ 0,658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y \\
 &= [0,658^{(0,4760)}] 240 \\
 &= 196,6482 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi

Jarak antar penghubung (a) = 1539,8 mm

$$a/r = 1539,8/24,6$$

$$= 62,5935 > 40 ; \text{ maka digunakan } \left(\frac{KL}{r}\right)_m$$

Untuk sambungan yang dibaut kencang penuh:

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{KL}{r}\right)_m &= \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2} \\
 \left(\frac{KL}{r}\right)_m &= \sqrt{62,5935^2 + \left(\frac{0,5 \cdot 1539,8}{24,6}\right)^2} \\
 &= 76,6611 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,966
 \end{aligned}$$

$$\text{Karena } \left(\frac{KL}{r}\right)_m < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} ; \text{ maka } F_{cr} = \left[ 0,658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y$$

$$\begin{aligned}
 F_e &= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 \times 200000}{76,6611^2} \\
 &= 336,1473 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{F_y}{F_e} &= \frac{240}{336,1473} \\
 &= 0,7140 < 2,25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{cry} &= \left[ 0,658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y \\
 &= [0,658^{0,7140}] 240 \\
 &= 178,0039 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{crz} &= \frac{GJ}{A_g \times r_0} \\
 &= \frac{77200 \times 11088}{1846 \times 1917,0564} \\
 &= 241,8822 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{cr} &= \left( \frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot F_{cry} \cdot F_{crz} \cdot H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right] \\
&= \left( \frac{178,0039 + 241,8822}{2(0,8528)} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 178,0039 \cdot 241,8822 \cdot 0,8528}{(178,0039 + 241,8822)^2}} \right] \\
&= 145,5932 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Periksa kekuatan tekan desain

Pemeriksaan tekuk lentur didapatkan  $F_{cr} = 196,6482 \text{ MPa}$

Pemeriksaan tekuk lentur torsi didapatkan  $F_{cr} = 145,5932 \text{ MPa}$

Dari kedua data di atas untuk nilai  $F_{cr}$  dipilih yang terkecil yaitu sebesar  $145,5932 \text{ MPa}$ . Setelah didapatkan nilai  $F_{cr}$  maka dapat dicari Kuat rencana dari profil batang tekan. Kuat rencana dapat dihitung dengan memperhitungkan variabel luas penampang,  $F_{cr}$  dan faktor reduksi.

$$\begin{aligned}
\phi_c P_n &= 0,9 \times F_{cr} \times A_g \\
&= 0,9 \times 145,5932 \times 1846 \\
&= 241,8885 \text{ KN} > P_u = 32,7497 \text{ KN (AMAN)}
\end{aligned}$$

Pemeriksaan batang eksterior tarik

$$\lambda = \frac{L}{r} = \frac{1333,3}{24,6} = 54,2005 < 300 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}
\phi P_n &= 0,9 \times A_g \times F_y \\
&= 0,9 \times 1846 \times 240 \\
&= 398,736 \text{ KN} > P_u = 28,3043 \text{ KN (AMAN)}
\end{aligned}$$

## 6. Perancangan sambungan kuda-kuda

Pada perancangan sambungan kuda-kuda, setiap elemen strukturnya dihubungkan oleh alat pengikat (*fastener*) atau pelat penyambung. Pelat buhul merupakan pelat penyambung yang sering digunakan untuk mengikat batang-batang. Jenis ikatan yang sering digunakan pada pelat buhul adalah baut, las dan paku keling. Dalam perancangan sambungan kuda-kuda atap, Gedung Youth Center menggunakan sambungan baut sebagai alat penyambung batang baja.

Baut yang digunakan memiliki mutu A325 dengan diameter baut yang digunakan M-20, pelat buhul dari baja ASTM A36 ( $f_y = 240$  MPa;  $F_u = 370$  MPa). Baut dengan mutu A325 dengan ulir berada di luar bidang geser memiliki kekuatan geser nominal ( $F_{nv}$ ) sebesar 457 MPa dan kekuatan tarik nominal sebesar 620 MPa. Perancangan sambungan baut untuk kuda-kuda adalah sebagai berikut.

- Keamanan kuat geser batang 1 (tarik) eksterior

$$\text{Profil Batang} = 2L\ 80 \times 80 \times 6$$

$$\text{Beban ultimit (Ru)} = 28,3043\ \text{KN}$$

$$\text{Dead Load} = 10,8854\ \text{KN}$$

$$\text{Live Load} = 9,5261\ \text{KN}$$

$$\text{Jumlah bidang geser} = 2$$

$$\text{Ukuran pelat buhul} = 6 \times 250\ \text{mm}$$

$$\text{Penampang bruto} = 1500\ \text{mm}^2$$

Pemeriksaan leleh tarik pada penampang bruto:

$$\begin{aligned} A_g &= 6 \times 250 \\ &= 1500\ \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 F_y A_g \\ &= 0,9 \times 240 \times 1500 \\ &= 324000\ \text{N} \end{aligned}$$

Syarat:  $\phi P_n > P_u = 324\ \text{KN} > 28,3043\ \text{KN}$  (AMAN)

Pemeriksaan keruntuhan tarik pada penampang netto:

$$\begin{aligned} A_n &= (h\ \text{pelat buhul} - 2(\text{diameter lubang})) \cdot b\ \text{pelat buhul} \\ &= (250 - 2(20 + 2)) \times 6 \\ &= 1236\ \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{n_{\max}} &= 0,85 A_g \\ &= 0,85 \times 1500 \\ &= 1275\ \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_e = A_n = 1236\ \text{mm}^2$$



$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,75 \times F_u \times A_e \\ &= 0,75 \times 370 \times 1236 \\ &= 342,99 \text{ KN}\end{aligned}$$

Syarat:  $\phi P_n > P_u$

$$= 342,99 \text{ KN} > 28,3043 \text{ KN}$$

Kekuatan tumpu baut:

$$\begin{aligned}R_n &= 2,4dtF_u \\ &= 2,4 \times 20 \times 6 \times 370 \\ &= 106,56 \text{ KN} \\ \phi R_n &= 0,75 \times 106,56 \text{ KN} \\ &= 79,92 \text{ KN}\end{aligned}$$

Hitung beban ultimit sambungan per baut:

$$\begin{aligned}R_u &= 28,3042 \text{ KN} \\ A_b &= 0,25\pi d^2 \\ &= 0,25 \pi (20)^2 \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \\ R_n &= F_{nv} \cdot A_b \cdot (\text{jumlah bidang geser}) \\ \phi R_n &= 0,75 \cdot 457 \cdot 314,159 \cdot 2 \\ &= 215,356 \text{ KN}\end{aligned}$$

Dipilih nilai terkecil dari kuat tumpu dan kuat geser baut  
Sehingga dipilih  $\phi R_n$  sebesar 79,92 KN.

Syarat:  $\phi R_n > R_u$

$$\phi R_n = 79,92 \text{ KN} > R_u = 28,3042 \text{ KN} \text{ (AMAN)}$$

Perhitungan jumlah baut:

$$\begin{aligned}N &= R_u / \phi R_n \\ &= 28,3042 / 79,92 \\ &= 0,35416\end{aligned}$$

Digunakan baut sejumlah 3 baut.

Perhitungan jarak bersih antar baut:

Jarak bersih antar baut diatur dalam SNI 1729:2015, spasi antar baut tidak boleh kurang dari  $2\frac{2}{3}$  kali diameter baut dan tidak boleh melebihi 14 kali tebal element tertipis atau 180 mm.

$$\begin{aligned} S_{\min} &= 8/3 (20) \\ &= 53,3333 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 14 \text{ tebal elemen tertipis} \\ &= 14 (6) \\ &= 84 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka diambil jarak antar baut diantara } S_{\min} < x < S_{\max} \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tepi minimum baut untuk baut berdiameter 20 mm digunakan jarak tepi minimum sebesar 26 mm. Dapat disimpulkan dengan baut diameter 20 mm dan jarak antar baut 60 mm serta jarak tepi minimum baut 26 mm maka batang 1 tarik eksterior aman.

- Keamanan kuat geser batang 24 (tekan) eksterior

$$\text{Profil Batang} = 2L 80 \times 80 \times 6$$

$$\text{Beban ultimit (Ru)} = 32,7497 \text{ KN}$$

$$\text{Dead Load} = 12,6252 \text{ KN}$$

$$\text{Live Load} = 10,9996 \text{ KN}$$

$$\text{Jumlah bidang geser} = 2$$

$$\text{Ukuran pelat buhul} = 6 \times 250 \text{ mm}$$

$$\text{Penampang bruto} = 1500 \text{ mm}^2$$

Pemeriksaan leleh tarik pada penampang bruto:

$$\begin{aligned} A_g &= 6 \times 250 \\ &= 1500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,9 F_y A_g \\ &= 0,9 \times 240 \times 1500 \\ &= 324000 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat:  $\phi P_n > P_u = 324 \text{ KN} > 32,7497 \text{ KN}$  (AMAN)

Pemeriksaan keruntuhan tekan pada penampang netto:

$$\begin{aligned}A_n &= (h \text{ pelat buhul} - 2(\text{diameter lubang})) \cdot b \text{ pelat buhul} \\ &= (250 - 2(20 + 2)) \times 6 \\ &= 1236 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{n_{\max}} &= 0,85 A_g \\ &= 0,85 \times 1500 \\ &= 1275 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_e = A_n = 1236 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,75 \times F_u \times A_e \\ &= 0,75 \times 370 \times 1236 \\ &= 342,99 \text{ KN}\end{aligned}$$

Syarat:  $\phi P_n > P_u$   
 $= 342,99 \text{ KN} > 32,7497 \text{ KN}$

Kekuatan tumpu baut:

$$\begin{aligned}R_n &= 2,4 d t F_u \\ &= 2,4 \times 20 \times 6 \times 370 \\ &= 106,56 \text{ KN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0,75 \times 106,56 \text{ KN} \\ &= 79,92 \text{ KN}\end{aligned}$$

Hitung beban ultimit sambungan per baut:

$$\begin{aligned}R_u &= 32,7497 \text{ KN} \\ A_b &= 0,25 \pi d^2 \\ &= 0,25 \pi (20)^2 \\ &= 314,159 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b \cdot (\text{jumlah bidang geser})$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 457 \cdot 314,159 \cdot 2$$

$$= 215,356 \text{ KN}$$

Dipilih nilai terkecil dari kuat tumpu dan kuat geser baut

Sehingga dipilih  $\phi R_n$  sebesar 79,92 KN.

Syarat:  $\phi R_n > R_u$

$$\phi R_n = 79,92 \text{ KN} > R_u = 32,7497 \text{ KN (AMAN)}$$

Perhitungan jumlah baut:

$$N = R_u / \phi R_n$$

$$= 32,7497 / 79,92$$

$$= 0,40978$$

Digunakan baut sejumlah 3 baut.

Jarak bersih antar baut

Jarak bersih antar baut diatur dalam SNI 1729:2015, spasi antar baut tidak boleh kurang dari  $2\frac{2}{3}$  kali diameter baut dan tidak boleh melebihi

14 kali tebal element tertipis atau 180 mm.

$$S_{\min} = 8/3 (20)$$

$$= 53,3333 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 14 \text{ tebal elemen tertipis}$$

$$= 14 (6)$$

$$= 84 \text{ mm}$$

Maka diambil jarak antar baut diantara  $S_{\min} < x < S_{\max}$

$$= 60 \text{ mm}$$

Jarak tepi minimum baut untuk baut berdiameter 20 mm digunakan jarak tepi minimum sebesar 26 mm. Dapat disimpulkan dengan baut diameter 20 mm dan jarak antar baut 60 mm serta jarak tepi minimum baut 26 mm maka batang 24 tekan eksterior aman.

- Keamanan kuat geser batang 35 (tarik) interior

$$\text{Profil Batang} = 2L 80 \times 80 \times 6$$

$$\text{Beban ultimit (Ru)} = 17,1398 \text{ KN}$$

$$\text{Dead Load} = 7,6164 \text{ KN}$$

$$\text{Live Load} = 5,0001 \text{ KN}$$

$$\text{Jumlah bidang geser} = 2$$

$$\text{Ukuran pelat buhul} = 6 \times 250 \text{ mm}$$

$$\text{Penampang bruto} = 1500 \text{ mm}^2$$

Pemeriksaan leleh tarik pada penampang bruto:

$$\begin{aligned} A_g &= 6 \times 250 \\ &= 1500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 F_y A_g \\ &= 0,9 \times 240 \times 1500 \\ &= 324000 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat:  $\phi P_n \geq 324 \text{ KN} > 17,1398 \text{ KN}$  (AMAN)

Pemeriksaan keruntuhan tarik pada penampang netto:

$$\begin{aligned} A_n &= (h \text{ pelat buhul} - 2(\text{diameter lubang})) \cdot b \text{ pelat buhul} \\ &= (250 - 2(20 + 2)) \times 6 \\ &= 1236 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{n_{\max}} &= 0,85 A_g \\ &= 0,85 \times 1500 \\ &= 1275 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_e = A_n = 1236 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,75 \times F_u \times A_e \\ &= 0,75 \times 370 \times 1236 \\ &= 342,99 \text{ KN} \end{aligned}$$

Syarat:  $\phi P_n > P_u = 342,99 \text{ KN} > 17,1398 \text{ KN}$

Kekuatan tumpu baut:

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4dtF_u \\ &= 2,4 \times 20 \times 6 \times 370 \\ &= 106,56 \text{ KN} \\ \phi R_n &= 0,75 \times 106,56 \text{ KN} \\ &= 79,92 \text{ KN} \end{aligned}$$

Hitung beban ultimit sambungan per baut:

$$\begin{aligned} R_u &= 32,7497 \text{ KN} \\ A_b &= 0,25\pi d^2 \\ &= 0,25 \pi (20)^2 \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \\ R_n &= F_{nv} \cdot A_b \cdot (\text{jumlah bidang geser}) \\ \phi R_n &= 0,75 \cdot 457 \cdot 314,159 \cdot 2 \\ &= 215,356 \text{ KN} \end{aligned}$$

Dipilih nilai terkecil dari kuat tumpu dan kuat geser baut  
Sehingga dipilih  $\phi R_n$  sebesar 79,92 KN.

Syarat:  $\phi R_n > R_u$

$$\phi R_n = 79,92 \text{ KN} > R_u = 17,1398 \text{ KN (AMAN)}$$

Perhitungan jumlah baut:

$$\begin{aligned} N &= R_u / \phi R_n \\ &= 17,1398 / 79,92 \\ &= 0,21446 \end{aligned}$$

Digunakan baut sejumlah 3 baut.

Jarak bersih antar baut

Jarak bersih antar baut diatur dalam SNI 1729:2015, spasi antar baut tidak boleh kurang dari  $2\frac{2}{3}$  kali diameter baut dan tidak boleh melebihi 14 kali tebal element tertipis atau 180 mm.

$$S_{\min} = 8/3 (20) \\ = 53,3333 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 14 \text{ tebal elemen tertipis} \\ = 14 (6) \\ = 84 \text{ mm}$$

Maka diambil jarak antar baut diantara  $S_{\min} < x < S_{\max}$   
 $= 60 \text{ mm}$

Jarak tepi minimum baut untuk baut berdiameter 20 mm digunakan jarak tepi minimum sebesar 26 mm.

Dapat disimpulkan dengan baut diameter 20 mm dan jarak antar baut 60 mm serta jarak tepi minimum baut 26 mm maka batang 35 tarik interior aman.

- Keamanan kuat geser batang 36 (tekan) interior

$$\text{Profil Batang} = 2L 80 \times 80 \times 6$$

$$\text{Beban ultimit (Ru)} = 8,4812 \text{ KN}$$

$$\text{Dead Load} = 3,54 \text{ KN}$$

$$\text{Live Load} = 2,6458 \text{ KN}$$

$$\text{Jumlah bidang geser} = 2$$

$$\text{Ukuran pelat buhul} = 6 \times 250 \text{ mm}$$

$$\text{Penampang bruto} = 1500 \text{ mm}^2$$

Pemeriksaan leleh tekan pada penampang bruto:

$$A_g = 6 \times 250 \\ = 1500 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = 0,9 F_y A_g \\ = 0,9 \times 240 \times 1500 \\ = 324000 \text{ N}$$

$$\text{Syarat: } \phi P_n > P_u = 324 \text{ KN} > 8,4812 \text{ KN (AMAN)}$$

Pemeriksaan keruntuhan tarik pada penampang netto:

$$\begin{aligned}
 A_n &= (h \text{ pelat buhul} - 2(\text{diameter lubang})) \cdot b \text{ pelat buhul} \\
 &= (250 - 2(20 + 2)) \times 6 \\
 &= 1236 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{n_{\max}} &= 0,85 A_g \\
 &= 0,85 \times 1500 \\
 &= 1275 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_e = A_n = 1236 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0,75 \times F_u \times A_e \\
 &= 0,75 \times 370 \times 1236 \\
 &= 342,99 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Syarat:  $\phi P_n > P_u$

$$= 342,99 \text{ KN} > 8,4812 \text{ KN.}$$

Kekuatan tumpu baut:

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,4 d t F_u \\
 &= 2,4 \times 20 \times 6 \times 370 \\
 &= 106,56 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times 106,56 \text{ KN} \\
 &= 79,92 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Hitung beban ultimit sambungan per baut:

$$R_u = 8,4812 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned}
 A_b &= 0,25 \pi d^2 \\
 &= 0,25 \pi (20)^2 \\
 &= 314,159 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b \cdot (\text{jumlah bidang geser})$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 457 \cdot 314,159 \cdot 2 \\
 &= 215,356 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Dipilih nilai terkecil dari kuat tumpu dan kuat geser baut

Sehingga dipilih  $\phi R_n$  sebesar 79,92 KN.

Syarat:  $\phi R_n > R_u$



$$\phi R_n = 79,92 \text{ KN} > R_u = 8,4812 \text{ KN} \text{ (AMAN)}$$

Perhitungan jumlah baut:

$$\begin{aligned} N &= R_u / \phi R_n \\ &= 8,4812 / 79,92 \\ &= 0,10612 \end{aligned}$$

Digunakan baut sejumlah 3 buah.

Jarak bersih antar baut

Jarak bersih antar baut diatur dalam SNI 1729:2015, spasi antar baut tidak boleh kurang dari  $22 \frac{2}{3}$  kali diameter baut dan tidak boleh melebihi 14 kali tebal element tertipis atau 180 mm.

$$\begin{aligned} S_{\min} &= 8/3 (20) \\ &= 53,3333 \text{ mm} \\ S_{\max} &= 14 \text{ tebal elemen tertipis} \\ &= 14 (6) \\ &= 84 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka diambil jarak antar baut diantara  $S_{\min} < x < S_{\max} = 60 \text{ mm}$

Jarak tepi minimum baut untuk baut berdiameter 20 mm digunakan jarak tepi minimum sebesar 26 mm.

Dapat disimpulkan dengan baut diameter 20 mm dan jarak antar baut 60 mm serta jarak tepi minimum baut 26 mm maka batang 36 tekan interior aman.

## 7. Perancangan angkur

Perancangan angkur pada bangunan Gedung Youth Center menggunakan base plat dan sambungan baut sebagai penghubung antara atap dengan kolom pedestal. Baut yang digunakan memiliki mutu A325 dengan diameter baut yang digunakan M-20, *base plate* dari baja ASTM A36 ( $f_y = 240 \text{ MPa}$ ;  $F_u = 370 \text{ MPa}$ ).

Perancangan angkur sebagai berikut.

- Data tumpuan:

Beban Kolom:

Beban aksial akibat beban terfaktor ( $P_u$ )

$$P_u = 124500 \text{ N}$$

Momen akibat beban terfaktor ( $M_u$ )

$$M_u = 52900000 \text{ Nmm}$$

Gaya geser akibat beban terfaktor ( $V_u$ )

$$V_u = 54370 \text{ N}$$

Pelat Tumpuan (*base plate*):

Tegangan leleh baja ( $f_y$ )

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

Tegangan tarik putus plat, ( $f_u$ )

$$f_u = 370 \text{ MPa}$$

Lebar plat tumpuan, ( $B$ )

$$B = 250 \text{ mm}$$

Panjang pelat tumpuan, ( $L$ )

$$L = 250 \text{ mm}$$

Tebal pelat tumpuan ( $t$ )

$$t = 20 \text{ mm}$$

Kolom Pedestal:

Kuat tekan ( $F'_c$ )

$$F'_c = 35 \text{ MPa}$$

Lebar penampang kolom ( $I$ )

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

Panjang penampang kolom ( $J$ )

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

Dimensi kolom baja:

Profil baja WF 150x150x7x10

Tinggi total (ht) = 150 mm  
 Lebar sayap (bf) = 150 mm  
 Tebal badan (tw) = 7 mm  
 Tebal sayap (tf) = 10 mm

Baut Angkur mutu A325:

Jarak baut ke tepi pelat = 26 mm  
 Tegangan tarik putus (fub) = 825 MPa  
 Tegangan leleh angkur baut (fy) = 400 MPa  
 Diameter angkur baut (d) = 20 mm  
 Jumlah angkur sisi tarik (nt) = 2 buah  
 Jumlah angkur sisi tekan (nc) = 2 buah  
 Jarak baut terhadap pusat penampang kolom (f)  
 f = 99 mm  
 Panjang angkur baut ke beton (La) = 500 mm

• Eksentrisitas Beban

Eksentrisitas =  $M_u/P_u$   
 =  $52900000/124500$   
 = 424,8996 mm

$L/6$  =  $250/6$   
 = 41,6667 mm

Syarat:  $e > L/6 = 424,8996 > 41,6667$  (AMAN)

$h = h_t - t_f = 150 - 10$   
 = 140 mm

$e_t = f + h/2 = 99 + (140/2)$   
 = 169 mm

$e_c = f - h/2 = 99 - (140/2)$   
 = 29 mm

Jumlah angkur total (n) = 4 buah

- Tahanan Tumpu Beton

Gaya tarik angkur baut (Pt),

$$P_t = P_u \left( \frac{e_c}{e_t} \right) = 21363,9053 \text{ N}$$

Gaya tekan total pada plat tumpuan (Puc),

$$P_{uc} = P_u + P_t = 145863,9053 \text{ N}$$

Panjang bidang tegangan tekan beton (Y),

$$Y = 3 \frac{(L-h)}{2} = 165 \text{ mm}$$

Luas pelat tumpuan baja (A1),

$$A_1 = B \times L = 62500 \text{ mm}^2$$

Luas penampang kolom pedestal (A2),

$$A_2 = I \times J = 90000 \text{ mm}^2$$

Tegangan tumpu nominal ( $f_{cn}$ ),

$$F_{cn} = 0,85 \cdot f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 35,7 \text{ MPa}$$

Faktor reduksi kekuatan tekan beton 0,65

Tegangan tumpu beton ijin ( $\phi f_{cn}$ ),

$$\phi f_{cn} = 0,65 \cdot 35,7 = 23,205 \text{ MPa}$$

Tegangan maksimal beton ( $f_{cu}$ ),

$$f_{cu} = 2 \frac{P_{uc}}{Y \cdot B} = 7,0722 \text{ MPa}$$

syarat yang harus dipenuhi:  $f_{cu} \leq \phi f_{cn}$

$$f_{cu} = 7,0722 \text{ MPa} \leq \phi f_{cn} = 23,205 \text{ MPa} \text{ (AMAN)}$$

Jadi, tegangan maksimal yang terjadi masih lebih kecil dari tegangan ijin sehingga tahanan tumpu beton aman.

- Kontrol Dimensi Pelat Tumpuan

Lebar minimum pelat tumpuan yang diperlukan

$$B_{pmin} = \frac{P_{uc}}{0,5 \phi f_{cn} Y} = 76,1925 \text{ mm}$$

Lebar yang digunakan 250 mm

Syarat:  $B_{pmin} < B$

$$B_{pmin} = 76,1925 \text{ mm} < B = 250 \text{ mm} \text{ (AMAN)}$$

Panjang pelat tumpuan jepit bebas, (a)

$$a = \frac{L-0,95ht}{2} = 53,75 \text{ mm}$$

$$f_{cu1} = \left(1 - \frac{a}{\gamma}\right) f_{cu} = 4,7684 \text{ MPa}$$

modulus penampang plastis pelat (Z),

$$Z = \frac{1}{4} B t^2 = 25000 \text{ mm}^2$$

Momen yang terjadi pada pelat akibat beban terfaktor,

$$\begin{aligned} M_{up} &= \frac{1}{2} B \cdot f_{cu1} \cdot a^2 + \frac{1}{3} B \cdot (f_{cu} - f_{cu1}) \cdot a^2 \\ &= 2276671,388 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi_b$ ) = 0,9

Tahanan momen nominal pelat ( $M_n$ ),

$$M_n = f_y \cdot Z = 6000000 \text{ Nmm}$$

Tahanan momen pelat ( $\phi_b M_n$ ) = 5400000 Nmm

Syarat yang harus dipenuhi:  $M_{up} \leq \phi_b M_n$

$$M_{up} = 2276671,388 \leq \phi_b M_n = 5400000 \text{ (AMAN)}$$

Jadi, tahanan momen pelat mampu menahan momen yang terjadi pada pelat akibat beban terfaktor sehingga dimensi pelat tumpuan aman.

- Gaya Tarik Pada Angkur Baut

Gaya tarik pada angkur baut ( $T_{u1}$ ),

$$T_{u1} = \frac{P_t}{n_t} = 10681,9527 \text{ N}$$

Tegangan tarik putus angkur baut ( $f_{ub}$ ),

$$f_{ub} = 825 \text{ MPa}$$

Luas penampang angkur baut ( $A_b$ ),

$$A_b = \frac{1}{4} \pi d^2 = 314,1593 \text{ mm}^2$$

Faktor reduksi kekuatan tarik ( $\phi_t$ ) = 0,9

Tahanan tarik nominal baut angkur ( $T_n$ ),

$$T_n = 0,75 \cdot A_b \cdot f_{ub} = 194386,0454 \text{ N}$$

Tahanan tarik angkur baut ( $\phi_t T_n$ )

$$\phi_t T_n = 174947,4409 \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi:  $T_{u1} \leq \phi T_n$

$$T_{u1} = 10681,9527 \text{ N} \leq \phi T_n = 174947,4409 \text{ N (AMAN)}$$

Jadi, tahanan tarik angkur baut lebih dari gaya tarik angkur baut sehingga dapat disimpulkan tahanan tarik angkur baut aman.

- Gaya Geser Pada Angkur Baut

Gaya geser pada angkur baut ( $V_{u1}$ ),

$$V_{u1} = \frac{V_u}{n} = 13592,5 \text{ N}$$

Tegangan tarik putus baut ( $f_{ub}$ ),

$$f_{ub} = 825 \text{ MPa}$$

Jumlah Penampang geser. ( $m$ ) = 1

Faktor pengaruh ulir pada bidang geser ( $r_1$ ) = 0.4

Luas penampang baut ( $A_b$ ) = 314,1593 mm<sup>2</sup>

Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi_f$ ),

$$\phi_f = 0,75$$

Tahanan geser nominal ( $V_n$ ),

$$V_n = r_1 \cdot m \cdot A_b \cdot f_{ub} = 103672,5576 \text{ N}$$

Tahanan geser angkur baut ( $\phi_f V_n$ ),

$$\phi_f V_n = 77754,4182 \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi:  $V_{u1} \leq \phi_f V_n$

$$V_{u1} = 13592,5 \text{ N} \leq \phi_f V_n = 77754,4182 \text{ N (AMAN)}$$

Jadi, tahanan geser angkur baut lebih dari gaya geser ultimit pada baut sehingga dapat disimpulkan tahanan geser angkur baut aman.

- Gaya Tumpu Pada Angkur Baut

Gaya tumpu pada angkur baut ( $R_{u1} = V_{u1}$ ),

$$R_{u1} = 13592,5 \text{ N}$$

Diameter baut ( $d$ ) = 20 mm

Tebal pelat tumpu ( $t$ ) = 20 mm

Tegangan tarik putus plat ( $f_{up}$ ),

$$F_{up} = 370 \text{ MPa}$$

Tahanan tumpu nominal ( $R_n$ ),

$$R_n = 2,4d.t.f_{up} = 355200 \text{ N}$$

$$\text{Tahanan tumpu } (\phi_f R_n) = 266400 \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi:  $R_{u1} \leq \phi_f R_n$

$$R_{u1} = 13592,5 \text{ N} \leq \phi_f R_n = 266400 \text{ N (AMAN)}$$

Jadi, tahanan tumpu baut lebih dari gaya tumpu ultimit pada baut sehingga dapat disimpulkan tahanan tumpu baut aman.

- Kombinasi Geser dan Tarik

Konstanta tegangan untuk baut mutu tinggi,

$$f_1 = 807 \text{ MPa}$$

$$f_2 = 621 \text{ MPa}$$

Faktor pengaruh ulir pada bidang geser, ( $r_2$ )

$$r_2 = 1,9$$

Tegangan geser akibat beban terfaktor ( $f_{uv}$ ),

$$F_{uv} = \frac{V_u}{(n A_b)} = 43,2663 \text{ MPa}$$

Kuat geser angkur baut,

$$\phi_f r_1 m f_{ub} = 247,5 \text{ MPa}$$

Syarat yang harus dipenuhi:  $f_{uv} \leq \phi_f r_1 m f_{ub}$

$$f_{uv} = 43,2663 \text{ MPa} \leq \phi_f r_1 m f_{ub} = 247,5 \text{ MPa (AMAN)}$$

Gaya tarik akibat beban terfaktor, ( $T_{u1}$ )

$$T_{u1} = 10681,9527 \text{ N}$$

Tahanan tarik angkur baut ( $\phi_f T_n$ ),

$$\phi_f T_n = \phi_f f_1 A_b = 190144,8954 \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi:  $T_{u1} \leq \phi_f f_1 A_b$

$$T_{u1} = 10681,9527 \text{ N} \leq \phi_f f_1 A_b = 190144,895 \text{ N (AMAN)}$$

Kuat tarik angkur baut ( $f_t$ ),

$$f_t = 0,75f_{ub} = 618,75 \text{ MPa}$$

Batas tegangan kombinasi ( $f_1 - r_2 \cdot f_{uv}$ ),

$$= 724,7941 \text{ MPa}$$

$$f_2 = 621 \text{ MPa}$$

syarat yang harus dipenuhi:  $f_t \leq f_1 - r_2 \cdot f_{uv}$

$$f_t = 618,75 \text{ MPa} \leq f_1 - r_2 \cdot f_{uv} = 724,7941 \text{ MPa} \text{ (AMAN)}$$

syarat yang harus dipenuhi:  $f_t \leq f_2$

$$f_t = 618,75 \text{ MPa} \leq f_2 = 621 \text{ MPa} \text{ (AMAN)}$$

- Kontrol Panjang Angkur Baut

Panjang angkur tanam yang digunakan ( $L_a$ ),

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

Kuat tekan beton ( $f'_c$ ),

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

Tegangan leleh baja ( $f_y$ ),

$$F_y = 400 \text{ MPa}$$

Diameter baut angkur ( $d$ ),

$$D = 20 \text{ mm}$$

Panjang angkur tanam minimum yang diperlukan ( $L_{min}$ ),

$$L_{min} = \frac{f_y}{(4\sqrt{f'_c})} d = 338,0617 \text{ mm}$$

Syarat yang harus dipenuhi:  $L_{min} \leq L_a$

$$L_{min} = 338,0617 \text{ mm} \leq L_a = 500 \text{ mm} \text{ (AMAN)}$$

Jadi, panjang angkur yang digunakan lebih dari panjang angkur minimum sehingga dapat disimpulkan panjang angkur memenuhi syarat.

## 2.7 Perancangan Balok

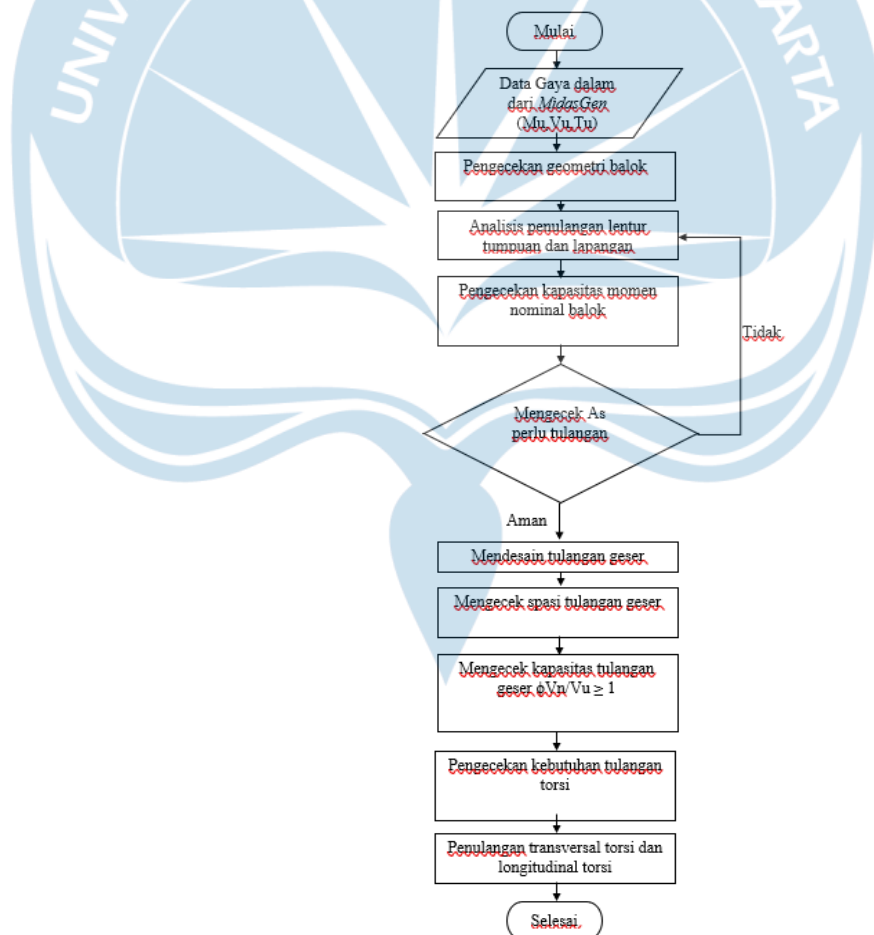
Perancangan balok pada Gedung Youth Center mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 18.6 hingga 18.9 yang mengatur mengenai Sistem Rangka Pemikul



Momen Khusus (SRPMK) pada daerah dengan KDS D,E,F untuk menahan beban lateral gempa. Berikut syarat dimensi penampang balok:

- Panjang bentang bersih ( $l_n$ ), harus lebih besar dari 4 kali tinggi efektif balok ( $l_n \geq 4d$ )
- Lebar penampang ( $b_w$ ), tidak kurang dari 0,3 kali tinggi penampang dan tidak boleh diambil kurang dari 250 mm ( $b_w \geq 0,3h$  atau 250 mm).
- Lebar penampang ( $b_w$ ), tidak boleh melebihi lebar kolom pendukung ditambah nilai terkecil dari lebar kolom atau  $\frac{3}{4}$  kali dimensi kolom arah sejajar komponen lentur.

Dalam perancangan balok dibutuhkan langkah-langkah sebagai pedoman yang dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Flowchart Perancangan Balok

### 2.7.1 Balok Induk 1 (350x700)

#### 1. Data dimensi balok:

Panjang balok (L)	= 8000 mm
Lebar balok (b)	= 350 mm
Tinggi balok (h)	= 700 mm
Panjang Tumpuan (2h),	= 2 (700) = 1400 mm
Diameter tulangan longitudinal (db),	= 19 mm
Diameter tulangan pinggang (dbt),	= 13 mm
Diameter tulangan Sengkang (ds),	= 10 mm
Selimut bersih (cc)	= 40 mm
Tinggi efektif balok (d),	= $h - cc - ds - db/2$ = 640,5 mm
Kuat tekan beton ( $f'c$ )	= 35 MPa
Kuat leleh tulangan longitudinal ( $f_y$ )	= 420 MPa
Kuat leleh tulangan transversal ( $f_{yv}$ )	= 280 MPa
$\beta_1$	= $0,85 \frac{0,05(f'c - 28)}{7}$ = 0.80
Panjang kolom, c1	= 550 mm
Lebar kolom. c2	= 550 mm
Ln	= L - c1 = 7450 mm
$\lambda$ (beton normal)	= 1

#### 2. Gaya Dalam:

Mu,tumpuan (-)	= -261,54 KNm
Mu,tumpuan (+)	= 175,28 KNm

Mu, lapangan (-)	= -187.21 KNm
Mu, lapangan (+)	= 129,76 KNm
Vu, tumpuan	= 339,6 KN
Vu, lapangan	= 307,67 KN
Vg, tumpuan (1,2D +L)	= 243,51 KN
Pu	= 0 KN

3. Syarat Gaya dan Geometri: (SNI 2847:2019 18.6.2)

$$\begin{aligned} \text{Syarat tinggi efektif, } L_n \geq 4d &= 7450 \geq 4(640,5) \\ &= 7450 \geq 2562 \text{ (AMAN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat lebar 1, } b_w \geq 0,3h \text{ dan } 250 \text{ mm} \\ &= 350 \geq 0,3h \\ &= 350 \geq 0,3(700) \\ &= 350 \geq 210 \text{ (AMAN)} \\ &= 350 \geq 250 \text{ (AMAN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat lebar 2, } b_w \leq c_2 \text{ dan } 0,75c_1 &= 350 \leq 550 \text{ (AMAN)} \\ &= 350 \leq 0,75(550) \\ &= 350 \leq 412,5 \text{ (AMAN)} \end{aligned}$$

4. Penulangan lentur:

- Tumpuan Negatif

Jumlah tulangan negatif tumpuan = 4 buah

Diameter tulangan (db) = 19 mm

Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned} &= \frac{(b - 2cc - 2ds - n db)}{n-1} \\ &= \frac{(350 - 2.40 - 2.10 - 4.19)}{4-1} \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek jarak bersih, (25.2.1 SNI 2847:2019)

syarat spasi bersih  $\geq db$  dan 25 mm

$$= 58 \geq db$$

$$= 58 \geq 19 \text{ (AMAN)}$$

$$= 58 \geq 25 \text{ (AMAN)}$$

Jumlah lapis  $= 1$

As pasang,  $= n \frac{1}{4} \pi db^2$

$$= 4 \frac{1}{4} \pi 19^2$$

$$= 1134,115 \text{ mm}^2$$

As min,1

$$= \frac{0,25\sqrt{f'c'}}{f_y} bwd$$

$$= \frac{0,25\sqrt{35}}{420} 350 \cdot 640,5$$

$$= 789,427 \text{ mm}^2$$

As min, 2

$$= \frac{1,4}{f_y} bwd$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \cdot 640,5$$

$$= 747,250 \text{ mm}^2$$

Syarat: As pasang  $\geq$  As min (9.6.1.2 SNI 2847:2019)

As pasang  $\geq$  As min1

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 789,427 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

As pasang  $\geq$  As min2

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 747,250 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

Rasio tulangan tumpuan tarik ( $\rho$ ) = As/b.d

$$= \frac{1134,115}{(640,5) (350)}$$

$$= 0,51 \%$$

$\rho_{\max}$

$$= 2,5 \%$$

Syarat:  $\rho \leq \rho_{\max}$  (18.6.3.1 SNI 2847:2019)

$$\rho \leq \rho_{\max}$$

$$0,51 \% \leq 2,5 \% \text{ (AMAN)}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As f_y}{0.85 \times f_{c'} \times b} \\
 &= \frac{1134,115 \cdot 420}{0.85 \cdot 35 \cdot 350} \\
 &= 45,746 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Asperlu} &= \frac{Mu}{f_y(d-\frac{a}{2})} \\
 &= \frac{261,54}{420(640,5-\frac{45,746}{2})} \\
 &= 1008,237 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat: As pasang  $\geq$  As perlu

$$\text{As pasang} = 1134,115 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu} = 1008,237 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen nominal (Mn)} &= \frac{As f_y}{d-\frac{a}{2}} \\
 &= \frac{1134,115 \cdot 420}{640,5-\frac{45,746}{2}} \\
 &= 294,193 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Letak garis netral (c)} &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{45,746}{0,80} \\
 &= 57,182 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Regangan tarik } (\varepsilon_s) &= 0.003 \frac{(d-c)}{c} \\
 &= 0.003 \frac{(640,5-57,182)}{57,182} \\
 &= 0,031
 \end{aligned}$$

Regangan tarik maksimal ( $\varepsilon_{smax}$ ) = 0,005

Karena  $\varepsilon_s \geq \varepsilon_{smax}$  maka penampang masuk kedalam kategori terkontrol tarik (SNI 2847:2019 ps. R21.2.2)

$$\begin{aligned}
 c_{max} &= \frac{\varepsilon_c \text{ max}}{\varepsilon_c \text{ max} + \varepsilon_{smax}} d \\
 &= \frac{0,003}{0,003+0,005} d \\
 &= 0,375d \\
 &= 0,375 (640,5) \\
 &= 240,1875 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena  $c < c_{\max}$  maka balok terkendali tarik dan dapat menggunakan

$$\begin{aligned}\phi &= 0.9 \\ \phi M_n &= 0.9 \cdot 294,193 \\ &= 264,774 \text{ KNm} \\ \text{Mu tumpuan (-)} &= 261,54 \text{ KNm}\end{aligned}$$

Syarat :  $\phi M_n \geq \text{Mu}$

$$264,774 \text{ KNm} \geq 261,54 \text{ KNm (AMAN)}$$

- Tumpuan Positif

Jumlah tulangan negatif tumpuan= 4 buah

$$\text{Diameter tulangan (db)} = 19 \text{ mm}$$

Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}&= \frac{(b - 2c - 2d_s - n db)}{n-1} \\ &= \frac{(350 - 2.40 - 2.10 - 4.19)}{4-1} \\ &= 58 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek jarak bersih, (SNI 2847:2019 ps 25.2.1)

syarat spasi bersih  $\geq db$  dan 25 mm

$$\begin{aligned}&= 58 \geq db \\ &= 58 \geq 19 \text{ (AMAN)} \\ &= 58 \geq 25 \text{ (AMAN)}\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah lapis} = 1$$

$$\begin{aligned}\text{As pasang,} &= n \frac{1}{4} \pi db^2 \\ &= 4 \frac{1}{4} \pi 19^2 \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As min,1} &= \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} bwd \\ &= \frac{0,25\sqrt{35}}{420} 350 \cdot 640,5 \\ &= 789,427 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min, 2} &= \frac{1,4}{f_y} bwd \\
 &= \frac{1,4}{420} 350.640,5 \\
 &= 747,250 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.6.3.2, momen positif muka joint tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{As min, 3} &= 0,5 \text{ As tumpuan negatif} \\
 &= 0,5 (1134,115) \\
 &= 567,057 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat: As pasang  $\geq$  As min (SNI 2847:2019 ps 9.6.1.2)

As pasang  $\geq$  As min1

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 789,427 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

As pasang  $\geq$  As min2

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 747,250 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

As pasang  $\geq$  As min3

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 567,057 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

Rasio tulangan tumpuan tarik ( $\rho$ ) = As/b.d

$$= \frac{1134,115}{(640,5) (350)}$$

$$= 0,51 \%$$

$$\rho_{\max} = 2,5 \%$$

Syarat:  $\rho \leq \rho_{\max}$  (SNI 2847:2019 ps 18.6.3.1)

$$\rho \leq \rho_{\max}$$

$$0,51 \% \leq 2,5 \% \text{ (AMAN)}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} \\
 &= \frac{1134,115 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 350} \\
 &= 45,746 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Asperlu} &= \frac{M_u}{f_y(d-\frac{a}{2})} \\
 &= \frac{175,280}{420(640,5-\frac{45,746}{2})} \\
 &= 675,704 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat: As pasang  $\geq$  As perlu

$$\text{As pasang} = 1134,115 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu} = 675,704 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen nominal (Mn)} &= \frac{A_s f_y}{d-\frac{a}{2}} \\
 &= \frac{1134,115 \cdot 420}{640,5-\frac{45,746}{2}} \\
 &= 294,193 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Letak garis netral (c)} &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{45,746}{0,80} \\
 &= 57,182 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Regangan tarik } (\epsilon_s) &= 0,003 \frac{(d-c)}{c} \\
 &= 0,003 \frac{(640,5-57,182)}{57,182} \\
 &= 0,031
 \end{aligned}$$

$$\text{Regangan tarik maksimal } (\epsilon_{smax}) = 0,005$$

Karena  $\epsilon_s \geq \epsilon_{smax}$  maka penampang masuk kedalam kategori terkontrol tarik (SNI 2847:2019 ps. R21.2.2)

$$\begin{aligned}
 c_{max} &= \frac{\epsilon_c \text{ max}}{\epsilon_c \text{ max} + \epsilon_{smax}} d \\
 &= \frac{0,003}{0,003+0,005} d \\
 &= 0,375d \\
 &= 0,375 (640,5) \\
 &= 240,1875 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{max} &= \beta_1 c_{max} \\
 &= 0,80 (240,1875) \\
 &= 192,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Karena  $c < c_{\max}$  maka balok terkendali tarik dan dapat menggunakan

$$\begin{aligned}\phi &= 0.9 \\ \phi M_n &= 0.9 \cdot 294,193 \\ &= 264,774 \text{ KNm} \\ \text{Mu tumpuan (+)} &= 175,280 \text{ KNm}\end{aligned}$$

Syarat :  $\phi M_n \geq \text{Mu}$

$$264,774 \text{ KNm} \geq 175,280 \text{ KNm (AMAN)}$$

- Lapangan Negatif

Jumlah tulangan negatif lapangan = 4 buah

$$\text{Diameter tulangan (db)} = 19 \text{ mm}$$

Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}&= \frac{(b - 2cc - 2ds - n db)}{n-1} \\ &= \frac{(350 - 2.40 - 2.10 - 4.19)}{4-1} \\ &= 58 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek jarak bersih, (25.2.1 SNI 2847:2019)

syarat spasi bersih  $\geq db$  dan 25 mm

$$= 58 \geq db$$

$$= 58 \geq 19 \text{ (AMAN)}$$

$$= 58 \geq 25 \text{ (AMAN)}$$

$$\text{Jumlah lapis} = 1$$

$$\text{As pasang,} = n \frac{1}{4} \pi db^2$$

$$= 4 \frac{1}{4} \pi 19^2$$

$$= 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min,1} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} bwd$$

$$= \frac{0,25\sqrt{35}}{420} 350 \cdot 640,5$$

$$= 789,427 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min, 2} &= \frac{1,4}{f_y} bwd \\
 &= \frac{1,4}{420} 350.640,5 \\
 &= 747,250 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.6.3.2, momen positif dan negatif pada penampang di sepanjang bentang tidak kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{As min, 3} &= 0,25 \text{ As tumpuan negatif} \\
 &= 0,25 (1134,115) \\
 &= 283,529 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat: As pasang  $\geq$  As min (9.6.1.2 SNI 2847:2019)

As pasang  $\geq$  As min1

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 789,427 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

As pasang  $\geq$  As min2

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 747,250 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

As pasang  $\geq$  As min3

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 283,529 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio tulangan lapangan } (\rho) &= \text{As/b.d} \\
 &= \frac{1134,115}{(640,5) (350)} \\
 &= 0,51 \%
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 2,5 \%$$

Syarat:  $\rho \leq \rho_{\max}$  (18.6.3.1 SNI 2847:2019)

$$\rho \leq \rho_{\max}$$

$$0,51 \% \leq 2,5 \% \text{ (AMAN)}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} \\
 &= \frac{1134,115 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 350} \\
 &= 45,746 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Asperlu} = \frac{Mu}{f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$= \frac{187,210}{420(640,5 - \frac{45,746}{2})}$$

$$= 721,695 \text{ mm}^2$$

Syarat:  $A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$A_s \text{ pasang} = 1134,115 \text{ mm}^2 \geq A_s \text{ perlu} = 721,695 \text{ mm}^2$  (OK)

Momen nominal (Mn)  $= \frac{A_s f_y}{d - \frac{a}{2}}$

$$= \frac{1134,115 \cdot 420}{640,5 - \frac{45,746}{2}}$$

$$= 294,193 \text{ KNm}$$

Letak garis netral (c)  $= \frac{a}{\beta_1}$

$$= \frac{45,746}{0,80}$$

$$= 57,182 \text{ mm}$$

Regangan tarik ( $\epsilon_s$ )  $= 0,003 \frac{(d - c)}{c}$

$$= 0,003 \frac{(640,5 - 57,182)}{57,182}$$

$$= 0,031$$

Regangan tarik maksimal ( $\epsilon_{smax}$ ) = 0,005

Karena  $\epsilon_s \geq \epsilon_{smax}$  maka penampang masuk kedalam kategori terkontrol tarik (SNI 2847:2019 ps. R21.2.2)

$c_{max} = \frac{\epsilon_{cmax}}{\epsilon_{cmax} + \epsilon_{smax}} d$

$$= \frac{0,003}{0,003 + 0,005} d$$

$$= 0,375d$$

$$= 0,375 (640,5)$$

$$= 240,1875 \text{ mm}$$

Karena  $c < c_{max}$  maka balok terkendali tarik dan dapat menggunakan

$\phi = 0,9$

$\phi M_n = 0,9 \cdot 294,193$

$$= 264,774 \text{ KNm}$$

Mu lapangan (-) = 187,210 KNm

Syarat :  $\phi M_n \geq M_u$

264,774 KNm  $\geq$  187,210 KNm (AMAN)

- Lapangan Positif

Jumlah tulangan negatif lapangan= 4 buah

Diameter tulangan (db) = 19 mm

Jarak bersih antar tulangan =  $\frac{(b - 2cc - 2ds - n db)}{n-1}$   
=  $\frac{(350 - 2.40 - 2.10 - 4.19)}{4-1}$   
= 58 mm

Cek jarak bersih, (25.2.1 SNI 2847:2019)

syarat spasi bersih  $\geq$  db dan 25 mm

$$= 58 \geq db$$

$$= 58 \geq 19 \text{ (AMAN)}$$

$$= 58 \geq 25 \text{ (AMAN)}$$

Jumlah lapis = 1

As pasang, =  $n \frac{1}{4} \pi db^2$

$$= 4 \frac{1}{4} \pi 19^2$$

$$= 1134,115 \text{ mm}^2$$

As min,1

$$= \frac{0,25\sqrt{f_c'} }{f_y} bwd$$

$$= \frac{0,25\sqrt{35}}{420} 350 . 640,5$$

$$= 789,427 \text{ mm}^2$$

As min, 2

$$= \frac{1,4}{f_y} bwd$$

$$= \frac{1,4}{420} 350.640,5$$

$$= 747,250 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.6.3.2, momen positif dan negatif pada penampang di sepanjang bentang tidak kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint sehingga,

$$\begin{aligned} \text{As min, 3} &= 0,25 \text{ As tumpuan negatif} \\ &= 0,25 (1134,115) \\ &= 283,529 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat:  $\text{As pasang} \geq \text{As min}$  (9.6.1.2 SNI 2847:2019)

$\text{As pasang} \geq \text{As min1}$

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 789,427 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

$\text{As pasang} \geq \text{As min2}$

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 747,250 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

$\text{As pasang} \geq \text{As min3}$

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 283,529 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

Rasio tulangan lapangan ( $\rho$ ),

$$\begin{aligned} \rho &= \text{As}/b.d \\ &= \frac{1134,115}{(640,5) (350)} \\ &= 0,51 \% \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 2,5 \%$$

Syarat:  $\rho \leq \rho_{\max}$  (18.6.3.1 SNI 2847:2019)

$$\rho \leq \rho_{\max}$$

$$0,51 \% \leq 2,5 \% \text{ (AMAN)}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As } f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1134,115 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 350} \\ &= 45,746 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Asperlu} &= \frac{\text{Mu}}{f_y(d-\frac{a}{2})} \\ &= \frac{129,760}{420(640,5-\frac{45,746}{2})} \\ &= 500,225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat:  $\text{As pasang} \geq \text{As perlu}$

$$\text{As pasang} = 1134,115 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu} = 500,225 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen nominal (Mn)} &= \frac{As f_y}{d - \frac{a}{2}} \\
 &= \frac{1134,115 \cdot 420}{640,5 - \frac{45,746}{2}} \\
 &= 294,193 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Letak garis netral (c)} &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{45,746}{0,80} \\
 &= 57,182 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Regangan tarik } (\epsilon_s) &= 0,003 \frac{(d - c)}{c} \\
 &= 0,003 \frac{(640,5 - 57,182)}{57,182} \\
 &= 0,031
 \end{aligned}$$

$$\text{Regangan tarik maksimal } (\epsilon_{smax}) = 0,005$$

Karena  $\epsilon_s \geq \epsilon_{smax}$  maka penampang masuk kedalam kategori terkontrol tarik (SNI 2847:2019 ps. R21.2.2)

$$\begin{aligned}
 c_{max} &= \frac{\epsilon_c \text{ max}}{\epsilon_c \text{ max} + \epsilon_{smax}} d \\
 &= \frac{0,003}{0,003 + 0,005} d \\
 &= 0,375d \\
 &= 0,375 (640,5) \\
 &= 240,1875 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena  $c < c_{max}$  maka balok terkendali tarik dan dapat menggunakan

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &= 0,9 \cdot 294,193 \\
 &= 264,774 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mu lapangan (+)} = 129,760 \text{ KNm}$$

Syarat :  $\phi Mn \geq Mu$

$$264,774 \text{ KNm} \geq 129,760 \text{ KNm (AMAN)}$$

## 5. Penulangan Geser:

- Gaya Dalam :

$$Vu, \text{ tumpuan} = 339,6 \text{ KN (MidasGen)}$$

$$Vu, \text{ lapangan} = 307,67 \text{ KN (MidasGen)}$$

$$Vg, \text{ tumpuan (1,2D +L)} = 243,51 \text{ KN (MidasGen)}$$

- Tumpuan

$$As^+ \text{ tumpuan} = 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$As^- \text{ tumpuan} = 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$apr^+ (1,25a) = 1,25 (45,746)$$

$$= 57,182 \text{ mm}$$

$$apr^- (1,25a) = 1,25 (45,746)$$

$$= 57,182 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps R18.6.5, kapasitas momen kuat lentur (MPr) menggunakan nilai kuat lentur tulangan 1,25fy. Momen probabilitas digunakan sebagai dasar dalam menentukan kuat geser balok, sambungan balok-kolom dan kekuatan kolom.

$$Mpr^+ = \frac{As^+ 1,25fy}{d - \frac{apr^+}{2}} = \frac{1134,115 \cdot 1,25 \cdot 420}{640,5 - \frac{57,182}{2}} = 364336871 \text{ Nmm}$$

$$Mpr^- = \frac{As^- 1,25fy}{d - \frac{apr^-}{2}} = \frac{1134,115 \cdot 1,25 \cdot 420}{640,5 - \frac{57,182}{2}} = 364336871 \text{ Nmm}$$

$$Vpr \text{ atau } Vsway = \frac{Mpr^+ + Mpr^-}{Ln} = \frac{364336871 + 364336871}{7450} = 97809 \text{ N}$$

Kuat geser rencana (Ve),

$$Ve = Vpr + Vg = 97809 + 243510$$

$$= 341319 \text{ N}$$

Tahanan Geser Beton:

$$V_{pr} = 97809 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} V_e = \frac{341319}{2}$$

$$= 170659 \text{ N}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps R18.6.5.2, kuat geser beton ( $V_c$ ) = 0 apabila gaya geser akibat gempa ( $V_{pr}$ )  $\geq \frac{1}{2}$  kuat geser rencana ( $V_e$ ) dan gaya aksial terfaktor ( $P_u$ ) termasuk akibat gempa  $\leq A_g f'_c/20$ .

$V_{pr} = 97809 \text{ N} \geq \frac{1}{2} V_e = 170659 \text{ N}$ , karena  $V_{pr} \leq \frac{1}{2} V_e$  maka  $V_c$  perlu diperhitungkan.

Kuat geser beton ( $V_c$ ),

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f'_c} b_w d \\ &= 0,17 \sqrt{35} \cdot 350 \cdot 640,5 \\ &= 225460 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser:

Digunakan 4 kaki diameter 10

Luas tulangan geser ( $A_v$ ),

$$\begin{aligned} A_v &= n \frac{1}{4} \pi d_s^2 \\ &= 4 \frac{1}{4} \pi 10^2 \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.6.4.4, spasi Sengkang pengegang memiliki batasan sebagai berikut.

- Spasi Sengkang tidak boleh melebihi  $\frac{1}{4}$  tinggi efektif ( $d/4$ ).
- Spasi Sengkang tidak boleh melebihi enam kali diameter terkecil batang lentur utama.
- 150 mm.

$$\text{Spasi max}_1 = \frac{1}{4} d$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{4} 640,5 \\
&= 160,13 \text{ mm} \\
\text{Spasi max}_2 &= 6db \\
&= 6 (19) \\
&= 114 \text{ mm} \\
\text{Spasi max}_3 &= 150 \text{ mm} \\
\text{Spasi sengkang} &= 100 \text{ mm} \\
\text{Syarat spasi : Spasi sengkang} &\leq \text{Spasi max} \\
\text{Spasi sengkang} = 100 \text{ mm} &\leq \text{Spasi max}_1 = 160,13 \text{ mm (OK)} \\
\text{Spasi sengkang} = 100 \text{ mm} &\leq \text{Spasi max}_2 = 114 \text{ mm (OK)} \\
\text{Spasi sengkang} = 100 \text{ mm} &\leq \text{Spasi max}_3 = 150 \text{ mm (OK)}
\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 22.5.10.5.3,  $V_s$  untuk tulangan geser dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot t \cdot d}{s} \\
V_s &= \frac{314,159 \cdot 280 \cdot 640,5}{100} \\
&= 563413 \text{ N} \\
V_n &= V_c + V_s \\
&= 225460 + 563413 \\
&= 788874 \text{ N} \\
\phi V_n &= 0,75 (788874) \\
&= 591,655 \text{ KN} \\
V_u &= 339,6 \text{ KN}
\end{aligned}$$

Syarat  $\phi V_n \geq V_u$ ,

$$\phi V_n = 591,655 \text{ KN} \geq V_u = 339,6 \text{ KN (AMAN)}$$

- Lapangan  
Digunakan 4 kaki diameter 10  
Luas tulangan geser ( $A_v$ ),

$$\begin{aligned}
 A_v &= n \frac{1}{4} \pi d s^2 \\
 &= 4 \frac{1}{4} \pi 10^2 \\
 &= 314,159 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.6.4.6, spasi Senggang pengegang memiliki batasan yaitu spasi senggang tidak boleh melebihi  $\frac{1}{2}$  tinggi efektif ( $d/2$ ).

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi max}_1 &= \frac{1}{2} d \\
 &= \frac{1}{2} 640,5 \\
 &= 320,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi senggang} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat spasi : Spasi senggang} \leq \text{Spasi max}$$

$$\text{Spasi senggang} = 100 \text{ mm} \leq \text{Spasi max}_1 = 320,25 \text{ mm (OK)}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 22.5.10.5.3,  $V_s$  untuk tulangan geser dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot t \cdot d}{s} \\
 V_s &= \frac{314,159 \cdot 280 \cdot 640,5}{100} \\
 &= 563413 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 225460 + 563413 \\
 &= 788874 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,75 (788874) \\
 &= 591,655 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$V_u = 307,87 \text{ KN}$$

Syarat  $\phi V_n \geq V_u$ ,

$$\phi V_n = 591,655 \text{ KN} \geq V_u = 307,87 \text{ KN (AMAN)}$$

## 6. Penulangan Torsi

Pada umumnya elemen struktur beton bertulang tidak terlepas dari pengaruh gaya geser yang secara serentak bekerja dengan beban aksial, momen lentur dan momen torsi. Torsi dapat terjadi karena beban transversal yang bekerja tidak segaris dengan titik berat penampang. Dalam beton bertulang terdapat dua macam torsi yaitu, torsi kesetimbangan dan torsi kompatibilitas/keselarasan. Torsi kompatibilitas dapat ditemui pada struktur bangunan statis tak tentu seperti gedung.

Parameter geometri penampang balok:

Luas yang dibatasi keliling luar penampang beton ( $A_{cp}$ ),

$$\begin{aligned} A_{cp} &= bh \\ &= 350 \cdot 700 \\ &= 245000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling luar penampang beton ( $P_{cp}$ ),

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2(b+h) \\ &= 2(350+700) \\ &= 2100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_o &= b - 2c_c - d_s \\ &= 260 \text{ mm} \end{aligned}$$

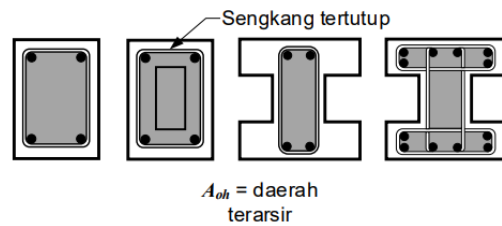
$$\begin{aligned} y_o &= h - 2c_c - d_s \\ &= 610 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= x_o \cdot y_o \\ &= 260 \cdot 610 \\ &= 158600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 (158600) \\ &= 134810 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rumus  $A_o$  diperoleh melalui (SNI 2847:2019 ps 22.7.6.1.1).

Luas penampang balok yang berada di dalam sengkang tertutup dapat dilihat pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21  $A_{oh}$  Pada Penampang Balok

Sumber : SNI 2847:2019 R22.7.6.1.1

Keliling garis tengah terluar sengkang tertutup ( $P_h$ ),

$$\begin{aligned} P_h &= 2(x_o + y_o) \\ &= 2(260 + 610) \\ &= 1740 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya dalam:

$$\text{Torsi ultimit (Tu)} = 69,12 \text{ KNm}$$

Pengecekan kebutuhan tulangan torsi:

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 22.7.6.1 retak torsi didapatkan berdasarkan jenis komponen yang digunakan. Pada balok Gedung Youth Center menggunakan komponen non prategang sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Momen retak torsi (Tcr)} &= 0,33\lambda\sqrt{f'c}\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right) \\ &= 0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \left(\frac{245000^2}{2100}\right) \\ &= 55803423 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor reduksi torsi } (\phi) = 0,75 \text{ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)}$$

$$\begin{aligned} \phi Tcr &= 0,75 (55803423) \\ &= 41852566,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ambang batas torsi (Tth)} &= 0,083\lambda\sqrt{f'c}\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right) \\ &= 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \left(\frac{245000^2}{2100}\right) \\ &= 14035406 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi T_{th} &= 0,75 (14035406) \\ &= 10526554,71 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Perlu diketahui bahwa momen torsi dapat mereduksi momen retak torsi ( $T_{cr}$ ) sebesar 25 persen sehingga didapatkan nilai ambang batas torsi atau nilai momen retak torsi yang tereduksi. Nilai momen retak torsi setelah direduksi menjadi 10463142 Nmm.

$$\text{Syarat: } T_u \geq \frac{\phi T_{cr}}{4}$$

$$T_u = 69120000 \geq \frac{\phi T_{cr}}{4} = 10463142, \text{ maka diperlukan tulangan torsi.}$$

Jenis struktur pada bangunan Youth Center adalah statis tak tentu sehingga jenis torsi masuk ke dalam jenis torsi kompatibilitas. Pada keadaan retak torsi, puntir besar terjadi oleh momen torsi yang pada dasarnya bernilai konstan, menghasilkan redistribusi gaya yang besar pada struktur. Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 22.7.3.2, pada struktur statis tak tentu saat  $T_u \geq \phi T_{cr}$  dan  $T_u$  tereduksi karena adanya redistribusi maka  $T_u$  dapat direduksi hingga  $T_u = \phi T_{cr}$ .

$$\text{Maka } T_u \text{ pakai} = \phi T_{cr} = 41852566,9 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 341319 \text{ N}$$

$$V_c = 225460 \text{ N}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 2.7.7.1 terdapat batasan penampang untuk penampang solid dapat menggunakan rumus berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_o h^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d}\right) + 0,66 \sqrt{f'_c}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan ultimit geser + torsi, } &\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_o h^2}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{341319}{350640,5}\right)^2 + \left(\frac{41852566,9}{1,7 \cdot 158600^2}\right)^2} \\ &= 2,284 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\text{Kapabilitas tegangan beton} = \phi \left(\frac{V_c}{b_w d}\right) + 0,66 \sqrt{f'_c}$$

$$= 0,75 \left( \frac{225460}{350 \cdot 640,5} \right) + 0,66\sqrt{35}$$

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

Syarat yang harus dipenuhi adalah tegangan ultimit geser + torsi  $\leq$  kapasitas tegangan beton. Maka pada perhitungan diatas pengecekan kecukupan dimensi penampang aman karena kapasitas tegangan beton lebih besar dari tegangan ultimit yang terjadi.

Penulangan transversal torsi:

Komponen non prategang,  $\theta = 45^\circ$  (SNI 2847:2019 ps 22.7.6.1.2)

Jumlah kaki tumpuan balok = 4

Jumlah kaki lapangan balok = 4

Spasi tulangan tumpuan = 100 mm

Spasi tulangan lapangan = 100 mm

Spasi max 1 =  $Ph/8$  (SNI 2847:2019 ps 9.7.6.3.3)

$$= 1740/8$$

$$= 218 \text{ mm}$$

Spasi max 2 = 300 mm

Cek spasi tumpuan dan lapangan:

Spasi tulangan tumpuan = 100 mm  $\leq$  Spasi max 1 = 218 mm (OK)

Spasi tulangan tumpuan = 100 mm  $\leq$  Spasi max 2 = 300 mm (OK)

Spasi tulangan lapangan = 100 mm  $\leq$  Spasi max 1 = 218 mm (OK)

Spasi tulangan lapangan = 100 mm  $\leq$  Spasi max 2 = 300 mm (OK)

$$\text{Luas tulangan transversal tumpuan (Av+t/s),} = \frac{\frac{1}{4}n\pi d_s^2}{s}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^2}{100}$$

$$= 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Luas tulangan transversal lapangan (Av+t/s),} = \frac{\frac{1}{4}n\pi d_s^2}{s}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^2}{100}$$

$$= 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\begin{aligned}
 At/s &= \frac{T_u}{2 \cdot \phi \cdot A_o \cdot f_{yv}} \\
 &= \frac{41852566,9}{2,075 \cdot 134810,280} \\
 &= 0,739 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Av/s \text{ tumpuan perlu} &= \frac{\frac{V_u}{\phi} - V_c}{f_{yv} \cdot d} \\
 &= \frac{\frac{341319}{0,75} - 225460}{280 \cdot 640,5} \\
 &= 1,280 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Av/s \text{ lapangan perlu} &= \frac{\frac{V_u}{\phi} - V_c}{f_{yv} \cdot d} \\
 &= \frac{\frac{307870}{0,75} - 225460}{280 \cdot 640,5} \\
 &= 1,032 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pps 9.5.4.3 tulangan transversal perlu dijumlahkan dengan tulangan torsi dengan catatan jika pada balok terdapat tulangan sengkang geser lebih dari dua kaki maka yang dihitung hanya kaki yang berdekatan dengan sisi balok.

$$\text{Maka total luasan adalah } \frac{A_{v+t}}{s} = \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t}/s \text{ tumpuan perlu} &= \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s} \\
 &= 1,280 + 2(0,739) \\
 &= 2,759 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t}/s \text{ lapangan perlu} &= \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s} \\
 &= 1,032 + 2(0,739) \\
 &= 2,510 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 9.6.4.2, terdapat luas tulangan geser torsi minimum sebagai batas bawah dari luas tulangan transversal yang terpasang.

$$\begin{aligned}
 A_{v+t}/s \text{ min } 1 &= 0,062 \sqrt{f'c} \frac{b_w}{f_{yt}} \\
 &= 0,0062 \sqrt{35} \frac{350}{280}
 \end{aligned}$$

$$= 0,458 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{v+t/s} \text{ min 2} = 0,35 \frac{bw}{f_{yt}}$$

$$= 0,35 \frac{350}{280}$$

$$= 0,438 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Cek geser + torsi tumpuan:

$(A_{v+t/s}) \text{ pasang} \geq A_{v+t/s} \text{ tumpuan perlu}$

$$3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 2,759 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}$$

$(A_{v+t/s}) \text{ pasang} \geq A_{v+t/s} \text{ min 1}$

$$3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 0,458 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}$$

$(A_{v+t/s}) \text{ pasang} \geq A_{v+t/s} \text{ min 2}$

$$3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 0,438 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}$$

Cek geser + torsi lapangan:

$(A_{v+t/s}) \text{ pasang} \geq A_{v+t/s} \text{ tumpuan perlu}$

$$3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 2,759 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}$$

$(A_{v+t/s}) \text{ pasang} \geq A_{v+t/s} \text{ min 1}$

$$3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 0,458 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}$$

$(A_{v+t/s}) \text{ pasang} \geq A_{v+t/s} \text{ min 2}$

$$3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 0,438 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}$$

Penulangan longitudinal torsi :

Digunakan tulangan dengan diameter 13 mm.

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

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 9.7.5.2, diameter tulangan minimal 0,00042s dan tidak kurang dari 10 mm.

$$13 \text{ mm} \geq 0,0042 (100)$$

$$13 \text{ mm} \geq 4,2 \text{ mm} \text{ (AMAN)}$$

$$13 \text{ mm} \geq 10 \text{ mm} \text{ (AMAN)}$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan atas} = 1008,237 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan bawah} = 675,704 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan atas} = 721,695 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan bawah} = 500,225 \text{ mm}^2$$



Luas tulangan longitudinal torsi ( $A_l$ ),

$$\begin{aligned} A_l &= A_t/s \cdot Ph \\ &= \frac{T_u}{2 \cdot \phi \cdot A_o \cdot f_{yv}} \cdot Ph \\ &= 0,739 (1740) \\ &= 1286,175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2947:2019 ps 9.6.4.3, apabila diperlukan tulangan torsi maka tulangan longitudinal memiliki nilai minimum yang harus dipenuhi.

$$\begin{aligned} A_{l\min} &= 0,42 \sqrt{f'c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left( \frac{A_t}{s} \right) Ph \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= 0,42 \sqrt{35} \frac{245000}{420} - 0,739 \cdot 1740 \frac{420}{420} \\ &= 163,265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan perlu tumpuan ( $A_s+l$ ),

$$\begin{aligned} &= 1008,237 + 1286,175 + 675,704 \\ &= 2970,116 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan perlu lapangan ( $A_s+l$ ),

$$\begin{aligned} &= 721,695 + 1286,175 + 500,225 \\ &= 2508,094 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rencana tulangan tumpuan:

$$n \text{ tumpuan atas} = 4$$

$$n \text{ tumpuan tengah} = 6$$

$$n \text{ tumpuan bawah} = 4$$

Rencana tulangan lapangan:

$$n \text{ tumpuan atas} = 4$$

$$n \text{ tumpuan tengah} = 6$$

$$n \text{ tumpuan bawah} = 4$$

$$\begin{aligned} A_s+A_l \text{ tumpuan terpasang} &= \frac{8\pi 19^2}{4} + \frac{6\pi 13^2}{4} \\ &= 3064,624 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s+A_l \text{ lapangan terpasang} = \frac{8\pi 19^2}{4} + \frac{6\pi 13^2}{4}$$

$$= 3064,624 \text{ mm}^2$$

Cek lentur + torsi tumpuan:

$A_s + A_l$  tumpuan terpasang  $\geq$   $A_s + A_l$  perlu tumpuan

$$3064,624 \text{ mm}^2 \geq 2970,116 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

Cek lentur + torsi lapangan

$A_s + A_l$  lapangan terpasang  $\geq$   $A_s + A_l$  perlu lapangan

$$3064,624 \text{ mm}^2 \geq 2508,094 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

Kesimpulan:

Balok Induk 1 (350 x700)

Syarat geometri = (AMAN)

Kapasitas lentur = (AMAN)

Kapasitas geser = (AMAN)

Kapasitas torsi = (AMAN)

Longitudinal tumpuan atas = 4D19

Longitudinal tumpuan tengah = 6D13

Longitudinal tumpuan bawah = 4D19

Longitudinal lapangan atas = 4D19

Longitudinal lapangan tengah = 6D13

Longitudinal lapangan bawah = 4D19

Senggang tumpuan = 4D10 -100

Senggang Lapangan = 4D10-100

### 2.7.2 Balok Induk 2 (300x600)

Pada balok induk 2 juga dilakukan cara perhitungan yang sama dengan perhitungan balok induk 1. Berikut rekapitulasi perhitungan balok induk lainnya.

1. Data dimensi balok:

Panjang balok (L) = 8000 mm

Lebar balok (b) = 300 mm

Tinggi balok (h) = 600 mm

Panjang Tumpuan (2h), = 2 (600)

$$= 1200 \text{ mm}$$

Diameter tulangan longitudinal ( $d_b$ ),

$$= 19 \text{ mm}$$

Diameter tulangan pinggang ( $d_{bt}$ ),

$$= 13 \text{ mm}$$

Diameter tulangan Sengkang ( $d_s$ ),

$$= 10 \text{ mm}$$

Selimut bersih ( $cc$ ) = 40 mm

Tinggi efektif balok ( $d$ ), =  $h - cc - d_s - d_b / 2$

$$= 540,5 \text{ mm}$$

Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) = 35 MPa

Kuat leleh tulangan longitudinal ( $f_y$ ) = 420 MPa

Kuat leleh tulangan transversal ( $f_{yv}$ ) = 280 MPa

$$\beta_1 = 0,85 \frac{0,05(f'_c - 28)}{7}$$

$$= 0.80$$

Panjang kolom,  $c_1$  = 500 mm

Lebar kolom.  $c_2$  = 500 mm

$L_n$  =  $L - c_1$

$$= 7500 \text{ mm}$$

$\lambda$  (beton normal) = 1

## 2. Gaya Dalam:

$M_u$ , tumpuan (-) = -214,77 KNm

$M_u$ , tumpuan (+) = 148,48 KNm

$M_u$ , lapangan (-) = -148,97 KNm

$M_u$ , lapangan (+) = 98,26 KNm

$V_u$ , tumpuan = 291,11 KN

$V_u$ , lapangan = 289,84 KN

$V_g$ , tumpuan (1,2D + L) = 234,99 KN

$P_u$  = 0 KN

3. Syarat Gaya dan Geometri: (SNI 2847:2019 18.6.2)

$$\begin{aligned}\text{Syarat tinggi efektif, } L_n &\geq 4d &&= 7500 \geq 4(540,5) \\ &&&= 7500 \geq 2162 \text{ (AMAN)}\end{aligned}$$

Syarat lebar 1,  $b_w \geq 0,3h$  dan 250 mm

$$\begin{aligned}&= 300 \geq 0,3h \\ &= 300 \geq 0,3(600) \\ &= 300 \geq 180 \text{ (AMAN)} \\ &= 300 \geq 250 \text{ (AMAN)}\end{aligned}$$

Syarat lebar 2,  $b_w \leq c_2$  dan  $0,75c_1 = 300 \leq 500$  (AMAN)

$$\begin{aligned}&= 300 \leq 0,75(500) \\ &= 300 \leq 375 \text{ (AMAN)}\end{aligned}$$

4. Penulangan lentur:

- Tumpuan Negatif

Jumlah tulangan negatif tumpuan = 4 buah

Diameter tulangan (db) = 19 mm

Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}&= \frac{(b - 2cc - 2ds - ndb)}{n-1} \\ &= \frac{(300 - 2.40 - 2.10 - 4.19)}{4-1} \\ &= 41,33 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek jarak bersih, (25.2.1 SNI 2847:2019)

syarat spasi bersih  $\geq db$  dan 25 mm

$$\begin{aligned}&= 41,3 \geq db \\ &= 41,3 \geq 19 \text{ (AMAN)} \\ &= 41,3 \geq 25 \text{ (AMAN)}\end{aligned}$$

Jumlah lapis = 1

As pasang,  $= n \frac{1}{4} \pi db^2$

$$\begin{aligned}
&= 4 \frac{1}{4} \pi 19^2 \\
&= 1134,115 \text{ mm}^2 \\
\text{As min,1} &= \frac{0,25\sqrt{f'c'}}{f_y} bwd \\
&= \frac{0,25\sqrt{35}}{420} 300 \cdot 540,5 \\
&= 571,007 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{As min, 2} &= \frac{1,4}{f_y} bwd \\
&= \frac{1,4}{420} 300 \cdot 540,5 \\
&= 540,5 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Syarat: As pasang  $\geq$  As min (9.6.1.2 SNI 2847:2019)

As pasang  $\geq$  As min1

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 571,007 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

As pasang  $\geq$  As min2

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 540,5 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

Rasio tulangan tumpuan tarik ( $\rho$ ) = As/b.d

$$\begin{aligned}
&= \frac{1134,115}{(540,5) (300)} \\
&= 0,7 \%
\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 2,5 \%$$

Syarat:  $\rho \leq \rho_{\max}$  (18.6.3.1 SNI 2847:2019)

$$\rho \leq \rho_{\max}$$

$$0,7 \% \leq 2,5 \% \text{ (AMAN)}$$

$$\begin{aligned}
a &= \frac{As f_y}{0,85 \times f'c' \times b} \\
&= \frac{1134,115 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} \\
&= 53,370 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Asperlu} &= \frac{Mu}{f_y(d-\frac{a}{2})} \\
&= \frac{214,77}{420(540,5-\frac{53,370}{2})} \\
&= 995,217 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Syarat:  $A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$A_s \text{ pasang} = 1134,115 \text{ mm}^2 \geq A_s \text{ perlu} = 995,217 \text{ mm}^2$  (OK)

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal (Mn)} &= \frac{A_s f_y}{d - \frac{a}{2}} \\ &= \frac{1134,115 \cdot 420}{540,5 - \frac{53,370}{2}} \\ &= 244,745 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Letak garis netral (c)} &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{53,370}{0,80} \\ &= 66,713 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tarik } (\epsilon_s) &= 0,003 \frac{(d - c)}{c} \\ &= 0,003 \frac{(540,5 - 66,713)}{66,713} \\ &= 0,021 \end{aligned}$$

Regangan tarik maksimal ( $\epsilon_{smax}$ ) = 0,005

Karena  $\epsilon_s \geq \epsilon_{smax}$  maka penampang masuk kedalam kategori terkontrol tarik (SNI 2847:2019 ps. R21.2.2)

$$\begin{aligned} c_{max} &= \frac{\epsilon_c \text{ max}}{\epsilon_c \text{ max} + \epsilon_{smax}} d \\ &= \frac{0,003}{0,003 + 0,005} d \\ &= 0,375d \\ &= 0,375 (540,5) \\ &= 202,69 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $c < c_{max}$  maka balok terkendali tarik dan dapat menggunakan

$$\begin{aligned} \phi &= 0,9 \\ \phi M_n &= 0,9 \cdot 244,745 \\ &= 220,270 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\text{Mu tumpuan (-)} = 214,770 \text{ KNm}$$

Syarat :  $\phi M_n \geq Mu$

$220,270 \text{ KNm} \geq 214,770 \text{ KNm}$  (AMAN)

- Tumpuan Positif

Jumlah tulangan negatif tumpuan= 4 buah

Diameter tulangan (db) = 19 mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih antar tulangan} &= \frac{(b - 2 cc - 2 ds - n db)}{n-1} \\ &= \frac{(300 - 2.40 - 2.10 - 4.19)}{4-1} \\ &= 41,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek jarak bersih, (SNI 2847:2019 ps 25.2.1)

syarat spasi bersih  $\geq$  db dan 25 mm

$$\begin{aligned} &= 41,3 \geq \text{db} \\ &= 41,3 \geq 19 \text{ (AMAN)} \\ &= 41,3 \geq 25 \text{ (AMAN)} \end{aligned}$$

Jumlah lapis = 1

$$\begin{aligned} \text{As pasang,} &= n \frac{1}{4} \pi db^2 \\ &= 4 \frac{1}{4} \pi 19^2 \\ &= 1134,115 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,1} &= \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} bwd \\ &= 571,007 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min, 2} &= \frac{1,4}{f_y} bwd \\ &= 540,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat: As pasang  $\geq$  As min (9.6.1.2 SNI 2847:2019)

As pasang  $\geq$  As min1

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 571,007 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

As pasang  $\geq$  As min2

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 540,5 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.6.3.2, momen positif muka joint tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif sehingga,

$$\begin{aligned} \text{As min, 3} &= 0,5 \text{ As tumpuan negatif} \\ &= 0,5 (1134,115) \\ &= 567,057 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat:  $As_{pasang} \geq As_{min}$  (SNI 2847:2019 ps 9.6.1.2)

$As_{pasang} \geq As_{min1}$

$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 571,007 \text{ mm}^2$  (AMAN)

$As_{pasang} \geq As_{min2}$

$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 540,5 \text{ mm}^2$  (AMAN)

$As_{pasang} \geq As_{min3}$

$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 567,057 \text{ mm}^2$  (AMAN)

Rasio tulangan tumpuan tarik ( $\rho$ ) =  $As/b.d$

$$= \frac{1134,115}{(540,5) (300)}$$

$$= 0,7 \%$$

$\rho_{max}$

$$= 2,5 \%$$

Syarat:  $\rho \leq \rho_{max}$  (SNI 2847:2019 ps 18.6.3.1)

$\rho \leq \rho_{max}$

$0,7 \% \leq 2,5 \%$  (AMAN)

a

$$= \frac{As f_y}{0.85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{1134,115 \cdot 420}{0.85 \cdot 35 \cdot 300}$$

$$= 53,370 \text{ mm}$$

As perlu

$$= \frac{Mu}{f_y(d-\frac{a}{2})}$$

$$= \frac{148,480}{420(540,5 - \frac{53,370}{2})}$$

$$= 688,037 \text{ mm}^2$$

Syarat:  $As_{pasang} \geq As_{perlu}$

$As_{pasang} = 1134,115 \text{ mm}^2 \geq As_{perlu} = 688,037 \text{ mm}^2$  (OK)

Momen nominal ( $M_n$ )

$$= \frac{As f_y}{d - \frac{a}{2}}$$

$$= \frac{1134,115 \cdot 420}{540,5 - \frac{53,370}{2}}$$

$$= 244,745 \text{ KNm}$$



$$\begin{aligned} \text{Letak garis netral (c)} &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{53,370}{0,80} \\ &= 66,713 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tarik } (\varepsilon_s) &= 0,003 \frac{(d-c)}{c} \\ &= 0,003 \frac{(540,5 - 66,713)}{66,713} \\ &= 0,021 \end{aligned}$$

$$\text{Regangan tarik maksimal } (\varepsilon_{smax}) = 0,005$$

Karena  $\varepsilon_s \geq \varepsilon_{smax}$  maka penampang masuk kedalam kategori terkontrol tarik (SNI 2847:2019 ps. R21.2.2)

$$\begin{aligned} c_{max} &= \frac{\varepsilon_{cmax}}{\varepsilon_{cmax} + \varepsilon_{smax}} d \\ &= \frac{0,003}{0,003 + 0,005} d \\ &= 0,375d \\ &= 0,375 (540,5) \\ &= 202,69 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{max} &= \beta_1 c_{max} \\ &= 0,80 (202,69) \\ &= 162,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $c < c_{max}$  maka balok terkendali tarik dan dapat menggunakan

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot 244,745 \\ &= 220,270 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\text{Mu tumpuan (+)} = 148,480 \text{ KNm}$$

$$\text{Syarat : } \phi M_n \geq \text{Mu}$$

$$220,270 \text{ KNm} \geq 148,480 \text{ KNm (AMAN)}$$

- Lapangan Negatif

Jumlah tulangan negatif lapangan= 4 buah

$$\text{Diameter tulangan (db)} = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih antar tulangan} &= \frac{(b - 2cc - 2ds - n db)}{n-1} \\ &= \frac{(300 - 2.40 - 2.10 - 4.19)}{4-1} \\ &= 41,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek jarak bersih, (25.2.1 SNI 2847:2019)

syarat spasi bersih  $\geq db$  dan 25 mm

$$= 41,3 \geq db$$

$$= 41,3 \geq 19 \text{ (AMAN)}$$

$$= 41,3 \geq 25 \text{ (AMAN)}$$

$$\text{Jumlah lapis} = 1$$

$$\text{As pasang,} = n \frac{1}{4} \pi db^2$$

$$= 4 \frac{1}{4} \pi 19^2$$

$$= 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min,1} = \frac{0,25\sqrt{f_c'} bwd}{f_y}$$

$$= 571,007 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min, 2} = \frac{1,4}{f_y} bwd$$

$$= 540,5 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.6.3.2, momen positif dan negatif pada penampang di sepanjang bentang tidak kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint sehingga,

$$\text{As min, 3} = 0,25 \text{ As tumpuan negatif}$$

$$= 0,25 (1134,115)$$

$$= 283,529 \text{ mm}^2$$

Syarat: As pasang  $\geq$  As min (9.6.1.2 SNI 2847:2019)

As pasang  $\geq$  As min1

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 571,007 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

As pasang  $\geq$  As min2

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 540,5 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

As pasang  $\geq$  As min3

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 283,529 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio tulangan lapangan } (\rho) &= A_s/b.d \\ &= \frac{1134,115}{(540,5) (300)} \\ &= 0,7 \% \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 2,5 \%$$

Syarat:  $\rho \leq \rho_{\max}$  (18.6.3.1 SNI 2847:2019)

$$\rho \leq \rho_{\max}$$

$$0,7 \% \leq 2,5 \% \text{ (AMAN)}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1134,115 \cdot 420}{0.85 \cdot 35 \cdot 300} \\ &= 53,370 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Asperlu} &= \frac{M_u}{f_y(d-\frac{a}{2})} \\ &= \frac{187,210}{420(540,5-\frac{53,370}{2})} \\ &= 690,308 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat:  $A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$A_s \text{ pasang} = 1134,115 \text{ mm}^2 \geq A_s \text{ perlu} = 690,308 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal } (M_n) &= \frac{A_s f_y}{d-\frac{a}{2}} \\ &= \frac{1134,115 \cdot 420}{540,5-\frac{53,370}{2}} \\ &= 244,745 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Letak garis netral } (c) &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{53,370}{0,80} \\ &= 66,713 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tarik } (\epsilon_s) &= 0.003 \frac{(d-c)}{c} \\ &= 0.003 \frac{(540,5-66,713)}{66,713} \\ &= 0,021 \end{aligned}$$

Regangan tarik maksimal ( $\epsilon_{smax}$ ) = 0,005

Karena  $\epsilon_s \geq \epsilon_{smax}$  maka penampang masuk kedalam kategori terkontrol tarik (SNI 2847:2019 ps. R21.2.2)

$$\begin{aligned}c_{max} &= \frac{\epsilon_c \max}{\epsilon_c \max + \epsilon_{smax}} d \\ &= \frac{0,003}{0,003 + 0,005} d \\ &= 0,375d \\ &= 0,375 (540,5) \\ &= 202,69 \text{ mm}\end{aligned}$$

Karena  $c < c_{max}$  maka balok terkendali tarik dan dapat menggunakan

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,9 \cdot 244,745 \\ &= 220,270 \text{ KNm}\end{aligned}$$

$$M_u \text{ lapangan (-)} = 148,970 \text{ KNm}$$

Syarat :  $\phi M_n \geq M_u$

$$220,270 \text{ KNm} \geq 148,970 \text{ KNm (AMAN)}$$

- Lapangan Positif

Jumlah tulangan negatif lapangan = 4 buah

$$\text{Diameter tulangan (db)} = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih antar tulangan} &= \frac{(b - 2cc - 2ds - n db)}{n-1} \\ &= \frac{(300 - 2.40 - 2.10 - 4.19)}{4-1} \\ &= 41,3 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek jarak bersih, (25.2.1 SNI 2847:2019)

syarat spasi bersih  $\geq db$  dan 25 mm

$$= 41,3 \geq db$$

$$= 41,3 \geq 19 \text{ (AMAN)}$$

$$= 41,3 \geq 25 \text{ (AMAN)}$$

$$\text{Jumlah lapis} = 1$$

$$\text{As pasang,} = n \frac{1}{4} \pi db^2$$

$$= 4 \frac{1}{4} \pi 19^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 1134,115 \text{ mm}^2 \\
 \text{As min,1} &= \frac{0,25\sqrt{f'c'}}{f_y} bwd \\
 &= 571,007 \text{ mm}^2 \\
 \text{As min, 2} &= \frac{1,4}{f_y} bwd \\
 &= 540,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.6.3.2, momen positif dan negatif pada penampang di sepanjang bentang tidak kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{As min, 3} &= 0,25 \text{ As tumpuan negatif} \\
 &= 0,25 (1134,115) \\
 &= 283,529 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat:  $\text{As pasang} \geq \text{As min}$  (9.6.1.2 SNI 2847:2019)

$\text{As pasang} \geq \text{As min1}$

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 571,007 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

$\text{As pasang} \geq \text{As min2}$

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 540,5 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

$\text{As pasang} \geq \text{As min3}$

$$1134,115 \text{ mm}^2 \geq 283,529 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$

Rasio tulangan lapangan ( $\rho$ ),

$$\begin{aligned}
 \rho &= \text{As}/b.d \\
 &= 0,7 \%
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 2,5 \%$$

Syarat:  $\rho \leq \rho_{\max}$  (18.6.3.1 SNI 2847:2019)

$$\rho \leq \rho_{\max}$$

$$0,51 \% \leq 2,5 \% \text{ (AMAN)}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As f_y}{0,85 \times f'c' \times b} \\
 &= 53,370 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Asperlu} = \frac{Mu}{f_y(d-\frac{a}{2})}$$

$$= \frac{98,260}{420(540,5 - \frac{53,370}{2})}$$

$$= 455,324 \text{ mm}^2$$

Syarat:  $A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$A_s \text{ pasang} = 1134,115 \text{ mm}^2 \geq A_s \text{ perlu} = 455,324 \text{ mm}^2$  (OK)

$$\text{Momen nominal (Mn)} = \frac{A_s f_y}{d - \frac{a}{2}}$$

$$= \frac{1134,115 \cdot 420}{640,5 - \frac{53,370}{2}}$$

$$= 244,745 \text{ KNm}$$

$$\text{Letak garis netral (c)} = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{53,370}{0,80}$$

$$= 66,713 \text{ mm}$$

$$\text{Regangan tarik } (\varepsilon_s) = 0,003 \frac{(d - c)}{c}$$

$$= 0,003 \frac{(640,5 - 66,713)}{66,713}$$

$$= 0,021$$

Regangan tarik maksimal ( $\varepsilon_{smax}$ ) = 0,005

Karena  $\varepsilon_s \geq \varepsilon_{smax}$  maka penampang masuk kedalam kategori terkontrol tarik (SNI 2847:2019 ps. R21.2.2).

$$c_{max} = \frac{\varepsilon_c \text{ max}}{\varepsilon_c \text{ max} + \varepsilon_{smax}} d$$

$$= \frac{0,003}{0,003 + 0,005} d$$

$$= 0,375d$$

$$= 0,375 (540,5)$$

$$= 202,69 \text{ mm}$$

Karena  $c < c_{max}$  maka balok terkendali tarik dan dapat menggunakan

$$\phi = 0,9$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 244,745$$

$$= 220,270 \text{ KNm}$$

$$\text{Mu lapangan (+)} = 98,260 \text{ KNm}$$

Syarat :  $\phi M_n \geq Mu$

$$220,270 \text{ KNm} \geq 98,260 \text{ KNm (AMAN)}$$

#### 5. Penulangan Geser:

- Gaya Dalam :

$$V_u, \text{ tumpuan} = 291,11 \text{ KN (MidasGen)}$$

$$V_u, \text{ lapangan} = 289,84 \text{ KN (MidasGen)}$$

$$V_g, \text{ tumpuan (1,2D +L)} = 234,99 \text{ KN (MidasGen)}$$

- Tumpuan

$$A_s^+ \text{ tumpuan} = 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$A_s^- \text{ tumpuan} = 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$a_{pr+} (1,25a) = 1,25 (53,370)$$

$$= 66,713 \text{ mm}$$

$$a_{pr-} (1,25a) = 1,25 (53,370)$$

$$= 66,713 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps R18.6.5, kapasitas momen kuat lentur (M<sub>Pr</sub>) menggunakan nilai kuat lentur tulangan 1,25f<sub>y</sub>. Momen probabilitas digunakan sebagai dasar dalam menentukan kuat geser balok, sambungan balok-kolom dan kekuatan kolom.

$$M_{pr+} = \frac{A_s^+ 1,25 f_y}{d - \frac{a_{pr+}}{2}} = 301958594 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr-} = \frac{A_s^- 1,25 f_y}{d - \frac{a_{pr-}}{2}} = 301958594 \text{ Nmm}$$

$$V_{pr} \text{ atau } V_{sway} = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{L_n} = \frac{301958594 + 301958594}{7500} = 80522 \text{ N}$$

Kuat geser rencana (V<sub>e</sub>),

$$V_e = V_{pr} + V_g = 80522 + 234990 = 315512 \text{ N}$$

Tahanan Geser Beton:

$$V_{pr} = 80522 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} V_e &= \frac{315512}{2} \\ &= 157756 \text{ N} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps R18.6.5.2, kuat geser beton ( $V_c$ ) = 0 apabila gaya geser akibat gempa ( $V_{pr}$ )  $\geq \frac{1}{2}$  kuat geser rencana ( $V_e$ ) dan gaya aksial terfaktor ( $P_u$ ) termasuk akibat gempa  $\leq A_g f'_c / 20$ .

$V_{pr} = 80522 \text{ N} \geq \frac{1}{2} V_e = 157756 \text{ N}$ , karena  $V_{pr} \leq \frac{1}{2} V_e$  maka  $V_c$  perlu diperhitungkan.

Kuat geser beton ( $V_c$ ),

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f'_c} b_w d \\ &= 0,17 \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 540,5 \\ &= 163080 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser:

Digunakan 4 kaki diameter 10

Luas tulangan geser ( $A_v$ ),

$$\begin{aligned} A_v &= n \frac{1}{4} \pi d_s^2 \\ &= 4 \frac{1}{4} \pi 10^2 \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.6.4.4, spasi Sengkang pengegang memiliki batasan sebagai berikut.

- Spasi Sengkang tidak boleh melebihi  $\frac{1}{4}$  tinggi efektif ( $d/4$ ).
- Spasi Sengkang tidak boleh melebihi enam kali diameter terkecil batang lentur utama.
- 150 mm.

$$\begin{aligned} \text{Spasi max}_1 &= \frac{1}{4} d \\ &= \frac{1}{4} 540,5 \\ &= 135,13 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Spasi max}_2 &= 6db \\ &= 6(19) \\ &= 114 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi max}_3 = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi sengkang} = 100 \text{ mm}$$

Syarat spasi : Spasi sengkang  $\leq$  Spasi max

$$\text{Spasi sengkang} = 100 \text{ mm} \leq \text{Spasi max}_1 = 135,13 \text{ mm (OK)}$$

$$\text{Spasi sengkang} = 100 \text{ mm} \leq \text{Spasi max}_2 = 114 \text{ mm (OK)}$$

$$\text{Spasi sengkang} = 100 \text{ mm} \leq \text{Spasi max}_3 = 150 \text{ mm (OK)}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 22.5.10.5.3,  $V_s$  untuk tulangan geser dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot t \cdot d}{s} \\ V_s &= \frac{314,159 \cdot 280 \cdot 540,5}{100} \\ &= 475449 \text{ N} \\ V_n &= V_c + V_s \\ &= 163080 + 475449 \\ &= 638528 \text{ N} \\ \phi V_n &= 0,75 (638528) \\ &= 478,896 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$V_u = 315,512 \text{ KN}$$

Syarat  $\phi V_n \geq V_u$ ,

$$\phi V_n = 478,896 \text{ KN} \geq V_u = 315,512 \text{ KN (AMAN)}$$

- Lapangan

Digunakan 4 kaki diameter 10

Luas tulangan geser ( $A_v$ ),

$$\begin{aligned} A_v &= n \frac{1}{4} \pi d s^2 \\ &= 4 \frac{1}{4} \pi 10^2 \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.6.4.6, spasi Senggang pengegang memiliki batasan yaitu spasi sengkang tidak boleh melebihi  $\frac{1}{2}$  tinggi efektif ( $d/2$ ).

$$\begin{aligned} \text{Spasi max}_1 &= \frac{1}{2} d \\ &= \frac{1}{2} 540,5 \\ &= 270,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi sengkang} = 100 \text{ mm}$$

Syarat spasi : Spasi sengkang  $\leq$  Spasi max

$$\text{Spasi sengkang} = 100 \text{ mm} \leq \text{Spasi max}_1 = 270,25 \text{ mm (OK)}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 22.5.10.5.3,  $V_s$  untuk tulangan geser dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot t \cdot d}{s} \\ V_s &= \frac{314,159 \cdot 280 \cdot 540,5}{100} \\ &= 475449 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 163080 + 475449 \\ &= 638528 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 (638528) \\ &= 478,896 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$V_u = 315,512 \text{ KN}$$

Syarat  $\phi V_n \geq V_u$ ,

$$\phi V_n = 478,896 \text{ KN} \geq V_u = 315,512 \text{ KN (AMAN)}$$

## 6. Penulangan Torsi

Pada umumnya elemen struktur beton bertulang tidak terlepas dari pengaruh gaya geser yang secara serentak bekerja dengan beban aksial, momen lentur dan momen torsi. Torsi dapat terjadi karena beban transversal yang bekerja tidak segaris dengan titik berat penampang. Dalam beton bertulang terdapat dua macam torsi yaitu, torsi

kesetimbangan dan torsi kompatibilitas/keselarasan. Torsi kompatibilitas dapat ditemui pada struktur bangunan statis tak tentu seperti gedung.

Parameter geometri penampang balok:

Luas yang dibatasi keliling luar penampang beton ( $A_{cp}$ ),

$$\begin{aligned} A_{cp} &= bh \\ &= 300 \cdot 600 \\ &= 180000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling luar penampang beton ( $P_{cp}$ ),

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2(b+h) \\ &= 2(300+600) \\ &= 1800 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_o &= b - 2c_c - d_s \\ &= 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_o &= h - 2c_c - d_s \\ &= 510 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= x_o \cdot y_o \\ &= 107100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 91035 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling garis tengah terluar sengkang tertutup ( $P_h$ ),

$$\begin{aligned} P_h &= 2(x_o + y_o) \\ &= 1440 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya dalam:

$$\text{Torsi ultimit } (T_u) = 51,63 \text{ KNm}$$

Pengecekan kebutuhan tulangan torsi:

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 22.7.6.1 retak torsi didapatkan berdasarkan jenis komponen yang digunakan. Pada balok Gedung Youth Center menggunakan komponen non prategang sehingga,

$$\text{Momen retak torsi (Tcr)} = 0,33\lambda\sqrt{f'c}\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right)$$

$$= 35141514 \text{ Nmm}$$

$$\text{Faktor reduksi torsi } (\phi) = 0,75 \text{ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)}$$

$$\phi \text{ Tcr} = 0,75 (35141514)$$

$$= 26356145,4 \text{ Nmm}$$

$$\text{Ambang batas torsi (Tth)} = 0,083\lambda\sqrt{f'c}\left(\frac{Acp^2}{Pcp}\right)$$

$$= 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \left( \frac{180000^2}{1800} \right)$$

$$= 8838623 \text{ Nmm}$$

$$\phi \text{ Tth} = 0,75 (8838623)$$

$$= 6628967,4 \text{ Nmm}$$

Perlu diketahui bahwa momen torsi dapat mereduksi momen retak torsi (Tcr) sebesar 25 persen sehingga didapatkan nilai ambang batas torsi atau nilai momen retak torsi yang tereduksi. Nilai momen retak torsi setelah direduksi menjadi 6589034 Nmm.

Syarat:

$$Tu \geq \frac{\phi Tcr}{4}$$

$$Tu = 51630000 \geq \frac{\phi Tcr}{4} = 6589034, \text{ maka diperlukan tulangan torsi.}$$

Jenis struktur pada bangunan Youth Center adalah statis tak tentu sehingga jenis torsi masuk ke dalam jenis torsi kompatibilitas. Pada keadaan retak torsi, puntir besar terjadi oleh momen torsi yang pada dasarnya bernilai konstan, menghasilkan redistribusi gaya yang besar pada struktur. Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 22.7.3.2, pada struktur statis tak tentu saat  $Tu \geq \phi Tcr$  dan  $Tu$  tereduksi karena adanya redistribusi maka  $Tu$  dapat direduksi hingga  $Tu = \phi Tcr$ .

$$\text{Maka } Tu \text{ pakai} = \phi Tcr = 26356145,4 \text{ Nmm}$$

$$Vu = Ve = 315512 \text{ N}$$

$$Vc = 163080 \text{ N}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 2.7.7.1 terdapat batasan penampang untuk penampang solid dapat menggunakan rumus berikut.

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bw d}\right)^2 + \left(\frac{TuPh}{1,7Aoh^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{Vc}{bw d}\right) + 0,66\sqrt{f'c}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ultimit geser + torsi} &= \sqrt{\left(\frac{Vu}{bw d}\right)^2 + \left(\frac{TuPh}{1,7Aoh^2}\right)^2} \\ &= 2,752 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas tegangan beton} &= \phi \left(\frac{Vc}{bw d}\right) + 0,66\sqrt{f'c} \\ &= 3,683 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Syarat yang harus dipenuhi adalah tegangan ultimit geser + torsi  $\leq$  kapasitas tegangan beton. Maka pada perhitungan diatas pengecekan kecukupan dimensi penampang aman karena kapasitas tegangan beton lebih besar dari tegangan ultimit yang terjadi.

Penulangan transversal torsi:

Komponen non prategang,  $\theta = 45^\circ$  (SNI 2847:2019 ps 22.7.6.1.2)

Jumlah kaki tumpuan balok = 4

Jumlah kaki lapangan balok = 4

Spasi tulangan tumpuan = 100 mm

Spasi tulangan lapangan = 100 mm

Spasi max 1 =  $Ph/8$  (SNI 2847:2019 ps 9.7.6.3.3)

= 180 mm

Spasi max 2 = 300 mm

Cek spasi tumpuan dan lapangan:

Spasi tulangan tumpuan = 100 mm  $\leq$  Spasi max 1 = 180 mm (OK)

Spasi tulangan tumpuan = 100 mm  $\leq$  Spasi max 2 = 300 mm (OK)

Spasi tulangan lapangan = 100 mm  $\leq$  Spasi max 1 = 180 mm (OK)

Spasi tulangan lapangan = 100 mm  $\leq$  Spasi max 2 = 300 mm (OK)

Luas tulangan transversal tumpuan ( $A_{v+t/s}$ ),

$$= \frac{\frac{1}{4}n\pi d_s^2}{s}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^2}{100}$$

$$= 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Luas tulangan transversal lapangan ( $A_{v+t/s}$ ),

$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{1}{4}n\pi d_s^2}{s} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot 4\pi 10^2}{100} \\ &= 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{t/s} &= \frac{T_u}{2 \cdot \phi \cdot A_o \cdot f_{yv}} \\ &= 0,689 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v/s} \text{ tumpuan perlu} &= \frac{\frac{V_u}{\phi} - V_c}{f_{yv} \cdot d} \\ &= 1,702 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v/s} \text{ lapangan perlu} &= \frac{\frac{V_u}{\phi} - V_c}{f_{yv} \cdot d} \\ &= 1,476 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pps 9.5.4.3 tulangan transversal perlu dijumlahkan dengan tulangan torsi dengan catatan jika pada balok terdapat tulangan sengkang geser lebih dari dua kaki maka yang dihitung hanya kaki yang berdekatan dengan sisi balok.

Maka total luasan adalah  $\frac{A_{v+t}}{s} = \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s}$

$$\begin{aligned} A_{v+t/s} \text{ tumpuan perlu} &= \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s} \\ &= 1,702 + 2(0,689) \\ &= 3,081 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t/s} \text{ lapangan perlu} &= \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s} \\ &= 1,476 + 2(0,689) \\ &= 2,855 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 9.6.4.2, terdapat luas tulangan geser torsi minimum sebagai batas bawah dari luas tulangan transversal yang terpasang.

$$\begin{aligned} A_{v+t/s} \text{ min 1} &= 0,062 \sqrt{f'c} \frac{b_w}{f_{yt}} \\ &= 0,393 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$A_{v+t/s \text{ min } 2} = 0,35 \frac{bw}{f_{yt}}$$

$$= 0,375 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Cek geser + torsi tumpuan:

$(A_{v+t/s})_{\text{pasang}} \geq A_{v+t/s \text{ tumpuan perlu}}$

$$3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 3,081 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}$$

$(A_{v+t/s})_{\text{pasang}} \geq A_{v+t/s \text{ min } 1}$

$$3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 0,393 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}$$

$(A_{v+t/s})_{\text{pasang}} \geq A_{v+t/s \text{ min } 2}$

$$3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 0,375 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}$$

Cek geser + torsi lapangan:

$(A_{v+t/s})_{\text{pasang}} \geq A_{v+t/s \text{ tumpuan perlu}}$

$$3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 3,081 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}$$

$(A_{v+t/s})_{\text{pasang}} \geq A_{v+t/s \text{ min } 1}$

$$3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 0,393 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}$$

$(A_{v+t/s})_{\text{pasang}} \geq A_{v+t/s \text{ min } 2}$

$$3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 0,375 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (AMAN)}$$

Penulangan longitudinal torsi :

Digunakan tulangan dengan diameter 13 mm.

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

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 9.7.5.2, diameter tulangan minimal 0,00042s dan tidak kurang dari 10 mm.

$$13 \text{ mm} \geq 0,0042 (100)$$

$$13 \text{ mm} \geq 4,2 \text{ mm} \text{ (AMAN)}$$

$$13 \text{ mm} \geq 10 \text{ mm} \text{ (AMAN)}$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan atas} = 995,217 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan bawah} = 688,037 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan atas} = 690,308 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan bawah} = 455,324 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan longitudinal torsi ( $A_l$ ),

$$\begin{aligned}
 A_t &= A_t/s \cdot Ph \\
 &= \frac{T_u}{2 \cdot \phi \cdot A_o \cdot f_{yv}} \cdot Ph \\
 &= 0,689 (1440) \\
 &= 992,628 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2947:2019 ps 9.6.4.3, apabila diperlukan tulangan torsi maka tulangan longitudinal memiliki nilai minimum yang harus dipenuhi.

$$\begin{aligned}
 A_{lmin} &= 0,42 \sqrt{f'c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) Ph \frac{f_{yt}}{f_y} \\
 &= 72,266 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan perlu tumpuan (As+l),} \\
 &= 995,217 + 992,628 + 688,037 \\
 &= 2675,882 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan perlu lapangan (As+l),} \\
 &= 690,308 + 992,628 + 455,324 \\
 &= 2138,260 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Rencana tulangan tumpuan:

$$n \text{ tumpuan atas} = 4$$

$$n \text{ tumpuan tengah} = 4$$

$$n \text{ tumpuan bawah} = 4$$

Rencana tulangan lapangan:

$$n \text{ tumpuan atas} = 4$$

$$n \text{ tumpuan tengah} = 4$$

$$n \text{ tumpuan bawah} = 4$$

$$\begin{aligned}
 \text{As+Al tumpuan terpasang} &= \frac{8\pi 19^2}{4} + \frac{4\pi 13^2}{4} \\
 &= 2799,159 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As+Al lapangan terpasang} &= \frac{8\pi 19^2}{4} + \frac{4\pi 13^2}{4} \\
 &= 2799,159 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek lentur + torsi tumpuan:

As+Al tumpuan terpasang  $\geq$  As+Al perlu tumpuan

$$2799,159 \text{ mm}^2 \geq 2675,882 \text{ mm}^2 \text{ (AMAN)}$$



Cek lentur + torsi lapangan

As+Al lapangan terpasang  $\geq$  As+Al perlu lapangan

2799,159 mm<sup>2</sup>  $\geq$  2138,260 mm<sup>2</sup> (AMAN)

Kesimpulan:

Balok Induk 2 (300 x 600)

Syarat geometri = (AMAN)

Kapasitas lentur = (AMAN)

Kapasitas geser = (AMAN)

Kapasitas torsi = (AMAN)

Longitudinal tumpuan atas = 4D19

Longitudinal tumpuan tengah = 4D13

Longitudinal tumpuan bawah = 4D19

Longitudinal lapangan atas = 4D19

Longitudinal lapangan tengah = 4D13

Longitudinal lapangan bawah = 4D19

Sengkang tumpuan = 4D10 -100

Sengkang Lapangan = 4D10-100

### 2.7.3 Balok Anak 1 (250x500)

1. Data dimensi balok anak:

Lebar balok (b) = 250 mm

Tinggi balok (h) = 500 mm

Tulangan longitudinal (db), = 19 mm

Tulangan Sengkang (ds), = 10 mm

Selimut bersih (cc) = 40 mm

Tinggi efektif balok (d), = h-cc-ds-db/2

= 440,5 mm

Kuat tekan beton (f'c) = 35 MPa

Kuat leleh tulangan longitudinal (fy) = 420 MPa

Kuat leleh tulangan transversal (fyv) = 280 MPa

$$\beta_1 = 0,85 \frac{0,05(f'c-28)}{7}$$

$$= 0,80$$

$\lambda$  (beton normal) = 1

faktor reduksi ( $\phi$ ) = 0,9

2. Gaya dalam:

Mu tumpuan = 119,81 KNm

Mu lapangan = -81,81 KNm

Vu tumpuan = 152,31 KN

Vu lapangan = 141,58 KN

3. Penulangan longitudinal tumpuan: (Mu = 119,81 KNm)

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2Mu}{\phi \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot b}}$$

$$= 440,5 - \sqrt{440,5^2 - \frac{2 \cdot 119,81}{0,9 \cdot 0,85 \cdot 35 \cdot 250}}$$

$$= 42,7027 \text{ mm}$$

$$c = a/\beta_1$$

$$= 42,7027/0,80$$

$$= 53,3784 \text{ mm}$$

$$c_{max} = \frac{\epsilon_c \max}{\epsilon_c \max + \epsilon_s \max} d$$

$$= \frac{0,003}{0,003 + 0,005} d$$

$$= 0,375d$$

$$= 0,375 (440,5)$$

$$= 165,1875 \text{ mm}$$

Karena  $c < c_{max}$  maka balok terkendali tarik dan dapat menggunakan  $\phi = 0,9$

$$A_{Sperlu} = \frac{Mu}{\phi f_y (d - \frac{a}{2})}$$

$$= \frac{119,81 \times 10^6}{0,9 \times 420 (440,5 - \frac{42,7027}{2})}$$

$$= 756,194 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{\text{perlu}}}{\frac{1}{4}\pi d^2} \\
 &= \frac{756,194}{\frac{1}{4}\pi 19^2} \\
 &= 2,6671 \approx 3
 \end{aligned}$$

Digunakan 3D19

$$\begin{aligned}
 A_{\text{terpasang}} &= 3 \frac{1}{4} \pi 19^2 \\
 &= 850,586 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek terhadap As min dan As max

$$\begin{aligned}
 A_{\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} b d \\
 &= \frac{1,4}{420} 250 \cdot 440,5 \\
 &= 367,0833 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As terpasang > As min; maka digunakan As terpasang

$$\begin{aligned}
 A_{\text{max}} &= \frac{0,36 \cdot \beta_1 f'_c \cdot b \cdot d}{f_y} \\
 &= \frac{0,36 \cdot 0,835 \cdot 250 \cdot 440,5}{420} \\
 &= 2643 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As terpasang < As max; maka digunakan As pasang = 850,586 mm<sup>2</sup>

Maka tulangan longitudinal tumpuan yang digunakan 3D19.

4. Penulangan geser tumpuan ( $V_u = 152,31 \text{ KN}$ )

Kekuatan geser dari beton ( $V_c$ )

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\
 &= 0,75 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 250 \cdot 440,5 \\
 &= 83067,3065 \text{ N} \\
 &= 83,0673 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Karena di daerah tumpuan  $V_u > \phi V_c$  maka tulangan geser diperlukan.

Syarat yang harus dipenuhi:  $\phi(V_c + V_s) \geq V_u$

$$\begin{aligned}
 \phi V_s &= V_u - \phi V_c \\
 &= 152,31 - 83,0673
 \end{aligned}$$

$$= 69,2427 \text{ KN}$$

$$V_s = 69,2427/0,75$$

$$= 92,3236 \text{ KN}$$

Pemeriksaan batasan dimensi penampang:

$$V_s \leq 0,66\sqrt{f'_c}b_wd$$

$$92,3236 \text{ KN} \leq 0,66\sqrt{35} 250 \cdot 440,5$$

$$92,3236 \text{ KN} \leq 429,9955 \text{ KN (OK)}$$

Menghitung spasi tulangan sengkang:

$$S = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s}$$

$$S = \frac{2.78,54 \cdot 280 \cdot 440,5}{92323,6}$$

$$= 314,7766 \text{ mm}$$

Cek spasi sengkang tumpuan:

Syarat:  $S \leq S_{max}$

$$V_s \leq 0,33\sqrt{f'_c}b_wd \text{ maka } s \leq d/2 \text{ atau } 600 \text{ mm}$$

$$V_s \geq 0,33\sqrt{f'_c}b_wd \text{ maka } s \leq d/4 \text{ atau } 300 \text{ mm}$$

$$V_s = 92323,59136 \text{ N}$$

$$0,33\sqrt{f'_c}b_wd = 214997,7344 \text{ N}$$

Maka  $V_s \leq 0,33\sqrt{f'_c}b_wd$  sehingga spasi sengkang tulangan geser tidak boleh lebih dari  $\frac{1}{2}$  tinggi efektif balok dan 600 mm.

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

$$S_{max 1} (d/2) = 220,25 \text{ mm}$$

$$S_{max 2} = 600 \text{ mm}$$

$$S = 100 \text{ mm} \leq S_{max 1} = 220,25 \text{ mm (AMAN)}$$

$$S = 100 \text{ mm} \leq S_{max 2} = 600 \text{ mm (AMAN)}$$

5. Penulangan longitudinal lapangan: ( $M_u = 81,81 \text{ KNm}$ )

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot b}}$$

$$= 440,5 - \sqrt{440,5^2 - \frac{2.81,81}{0,9 \cdot 0,85 \cdot 35 \cdot 250}}$$

$$= 28,6790 \text{ mm}$$

$$c = a/\beta_1$$

$$= 28,6790/0,80$$

$$= 35,8487 \text{ mm}$$

$$c_{\max} = \frac{\varepsilon_{c \max}}{\varepsilon_{c \max} + \varepsilon_{s \max}} d$$

$$= \frac{0,003}{0,003 + 0,005} d$$

$$= 0,375d$$

$$= 0,375 (440,5)$$

$$= 165,1875 \text{ mm}$$

Karena  $c < c_{\max}$  maka balok terkendali tarik dan dapat menggunakan  $\phi = 0,9$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{Mu}{\phi f_y (d - \frac{a}{2})}$$

$$= \frac{81,81 \times 10^6}{0,9 \times 420 (440,5 - \frac{28,6790}{2})}$$

$$= 507,8569 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

$$= \frac{507,8569}{\frac{1}{4} \pi 19^2}$$

$$= 1,7912 \approx 2$$

Digunakan 2D19

$$A_s \text{ pasang} = 2 \frac{1}{4} \pi 19^2$$

$$= 567,0575 \text{ mm}^2$$

Cek terhadap  $A_s \text{ min}$  dan  $A_s \text{ max}$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} b d$$

$$= \frac{1,4}{420} 250 \cdot 440,5$$

$$= 367,0833 \text{ mm}^2$$

As pasang > As min; maka digunakan As pasang

$$\begin{aligned} A_{smax} &= \frac{0,36 \cdot \beta_1 f'_c b d}{f_y} \\ &= \frac{0,36 \cdot 0,835 \cdot 250 \cdot 440,5}{420} \\ &= 2643 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As pasang < As max; maka digunakan As pasang = 567,057 mm<sup>2</sup>

Maka tulangan longitudinal tumpuan yang digunakan 2D19.

#### 6. Penulangan geser lapangan ( $V_u = 141,58 \text{ KN}$ )

Kekuatan geser dari beton ( $V_c$ )

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ &= 0,75 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 250 \cdot 440,5 \\ &= 83067,3065 \text{ N} \\ &= 83,0673 \text{ KN} \end{aligned}$$

Karena di daerah tumpuan  $V_u > \phi V_c$  maka tulangan geser diperlukan.

Syarat yang harus dipenuhi:  $\phi(V_c + V_s) \geq V_u$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 141,58 - 83,0673 \\ &= 58,5127 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= 58,5127 / 0,75 \\ &= 78,0169 \text{ KN} \end{aligned}$$

Pemeriksaan batasan dimensi penampang:

$$V_s \leq 0,66 \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$78,0169 \text{ KN} \leq 0,66 \sqrt{35} \cdot 250 \cdot 440,5$$

$$78,0169 \text{ KN} \leq 429,9955 \text{ KN (OK)}$$

Menghitung spasi tulangan sengkang:

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v f_y t d}{V_s} \\ S &= \frac{2 \cdot 78,54 \cdot 280 \cdot 440,5}{78016,9} \end{aligned}$$

$$= 372,5 \text{ mm}$$

Cek spasi sengkang tumpuan:

Syarat:  $S \leq S_{\max}$

$$V_s \leq 0,33\sqrt{f'_c}b_wd \text{ maka } s \leq d/2 \text{ atau } 600 \text{ mm}$$

$$V_s \geq 0,33\sqrt{f'_c}b_wd \text{ maka } s \leq d/4 \text{ atau } 300 \text{ mm}$$

$$V_s = 78016,9 \text{ N}$$

$$0,33\sqrt{f'_c}b_wd = 214997,7344 \text{ N}$$

karena  $V_s \leq 0,33\sqrt{f'_c}b_wd$  maka spasi sengkang tulangan geser tidak boleh lebih dari  $\frac{1}{2}$  tinggi efektif balok dan 600 mm.

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

$$S_{\max 1} (d/2) = 220,25 \text{ mm}$$

$$S_{\max 2} = 600 \text{ mm}$$

$$S = 150 \text{ mm} \leq S_{\max 1} = 220,25 \text{ mm (AMAN)}$$

$$S = 150 \text{ mm} \leq S_{\max 2} = 600 \text{ mm (AMAN)}$$

#### 2.7.4 Balok Anak 2 (250x450)

1. Data dimensi balok anak:

$$\text{Lebar balok (b)} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (h)} = 450 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan longitudinal (db),} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan Sengkang (ds),} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut bersih (cc)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi efektif balok (d),}$$

$$= h - cc - ds - db/2$$

$$= 390,5 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat tekan beton (f'c)} = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat leleh tulangan longitudinal (fy)} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat leleh tulangan transversal (fyv)} = 280 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 \frac{0,05(f'_c - 28)}{7}$$

$$= 0.80$$

$$\lambda \text{ (beton normal)} = 1$$

$$\text{faktor reduksi}(\phi) = 0,9$$

2. Gaya dalam:

$$M_u \text{ tumpuan} = -137,82 \text{ KNm}$$

$$M_u \text{ lapangan} = -87,22 \text{ KNm}$$

$$V_u \text{ tumpuan} = 188,47 \text{ KN}$$

$$V_u \text{ lapangan} = 187,68 \text{ KN}$$

3. Penulangan longitudinal tumpuan: ( $M_u = -137,82 \text{ KNm}$ )

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot b}}$$

$$= 56,8662 \text{ mm}$$

$$c = a/\beta_1$$

$$= 56,8662/0,80$$

$$= 71,0827 \text{ mm}$$

$$c_{max} = \frac{\epsilon_{c \max}}{\epsilon_{c \max} + \epsilon_{s \max}} d$$

$$= \frac{0,003}{0,003 + 0,005} d$$

$$= 0,375d$$

$$= 0,375 (390,5)$$

$$= 146,4375 \text{ mm}$$

Karena  $c < c_{max}$  maka balok terkendali tarik dan dapat menggunakan  $\phi = 0,9$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{M_u}{\phi f_y (d - \frac{a}{2})}$$

$$= \frac{137,82 \times 10^6}{0,9 \times 420 (390,5 - \frac{56,8662}{2})}$$

$$= 1007,004935 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

$$= \frac{1007,004935}{\frac{1}{4} \pi 19^2}$$

$$= 3,5517 \approx 4$$

Digunakan 4D19



$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 4 \frac{1}{4} \pi 19^2 \\ &= 1134,114 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek terhadap As min dan As max

$$\begin{aligned} \text{As min} &= \frac{1,4}{f_y} b d \\ &= \frac{1,4}{420} 250.390,5 \\ &= 325,4167 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As pasang > As min; maka digunakan As pasang

$$\begin{aligned} \text{Asmax} &= \frac{0,36 \cdot \beta_1 f'_c b d}{f_y} \\ &= 2343 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Aspasang < As max ; maka digunakan As pasang = 1134,114 mm<sup>2</sup>

Maka tulangan longitudinal tumpuan yang digunakan 4D19.

#### 4. Penulangan geser tumpuan ( $V_u = 188,47 \text{ KN}$ )

Kekuatan geser dari beton ( $V_c$ )

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ &= 73638,5543 \text{ N} \\ &= 73,6386 \text{ KN} \end{aligned}$$

Karena di daerah tumpuan  $V_u > \phi V_c$  maka tulangan geser diperlukan.

Syarat yang harus dipenuhi:  $\phi(V_c + V_s) \geq V_u$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 114,8314 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= 114,8314 / 0,75 \\ &= 153,1086 \text{ KN} \end{aligned}$$

Pemeriksaan batasan dimensi penampang:

$$V_s \leq 0,66 \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$153,1086 \text{ KN} \leq 0,66 \sqrt{35} 250.390,5$$

$$153,1086 \text{ KN} \leq 381,1878106 \text{ KN (OK)}$$

Menghitung spasi tulangan sengkang:

$$S = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} \\ = 168,2638 \text{ mm}$$

Cek spasi sengkang tumpuan:

Syarat:  $S \leq S_{max}$

$$V_s \leq 0,33 \sqrt{f'_c} b_w d \text{ maka } s \leq d/2 \text{ atau } 600 \text{ mm}$$

$$V_s \geq 0,33 \sqrt{f'_c} b_w d \text{ maka } s \leq d/4 \text{ atau } 300 \text{ mm}$$

$$V_s = 153108,5942 \text{ N}$$

$$0,33 \sqrt{f'_c} b_w d = 190593,9052 \text{ N}$$

Karena  $V_s \leq 0,33 \sqrt{f'_c} b_w d$  maka spasi sengkang tulangan geser tidak boleh lebih dari  $\frac{1}{2}$  tinggi efektif balok dan 600 mm.

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

$$S_{max 1} (d/2) = 195,25 \text{ mm}$$

$$S_{max 2} = 600 \text{ mm}$$

$$S = 100 \text{ mm} \leq S_{max 1} = 195,25 \text{ mm (AMAN)}$$

$$S = 100 \text{ mm} \leq S_{max 2} = 600 \text{ mm (AMAN)}$$

5. Penulangan longitudinal lapangan: ( $M_u = -87,22 \text{ KNm}$ )

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot b}} \\ = 34,9299 \text{ mm}$$

$$c = a/\beta_1 \\ = 34,9299 / 0,80 \\ = 43,6623 \text{ mm}$$

$$c_{max} = \frac{\epsilon_c \text{ max}}{\epsilon_c \text{ max} + \epsilon_s \text{ max}} d \\ = \frac{0,003}{0,003 + 0,005} d \\ = 0,375d \\ = 0,375 (390,5) \\ = 146,4375 \text{ mm}$$

Karena  $c < c_{\max}$  maka balok terkendali tarik dan dapat menggunakan  $\phi =$

0.9

$$\begin{aligned} A_{S\text{perlu}} &= \frac{Mu}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \\ &= 618,5497 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{S\text{perlu}}}{\frac{1}{4}\pi d^2} \\ &= \frac{618,5497}{\frac{1}{4}\pi 19^2} \\ &= 2,1816 \approx 3 \end{aligned}$$

Digunakan 3D19

$$\begin{aligned} A_{S\text{terpasang}} &= 3 \frac{1}{4} \pi 19^2 \\ &= 850,586 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek terhadap  $A_{S\text{min}}$  dan  $A_{S\text{max}}$

$$\begin{aligned} A_{S\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} b d \\ &= 325,4167 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_{S\text{pasang}} > A_{S\text{min}}$ ; maka digunakan  $A_{S\text{pasang}}$

$$\begin{aligned} A_{S\text{max}} &= \frac{0,36 \beta_1 f'_c b d}{f_y} \\ &= 2343 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_{S\text{pasang}} < A_{S\text{max}}$ ; maka digunakan  $A_{S\text{pasang}} = 850,586 \text{ mm}^2$

Maka tulangan longitudinal lapangan yang digunakan 3D19.

6. Penulangan geser lapangan ( $V_u = 187,68 \text{ KN}$ )

Kekuatan geser dari beton ( $V_c$ )

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ &= 73638,5543 \text{ N} \\ &= 73,6386 \text{ KN} \end{aligned}$$

Karena di daerah tumpuan  $V_u > \phi V_c$  maka tulangan geser diperlukan.

Syarat yang harus dipenuhi:  $\phi(V_c + V_s) \geq V_u$

$$\begin{aligned}\phi V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 114,0414 \text{ KN} \\ V_s &= 114,0414/0,75 \\ &= 152,0553 \text{ KN}\end{aligned}$$

Pemeriksaan batasan dimensi penampang:

$$\begin{aligned}V_s &\leq 0,66\sqrt{f'_c}b_wd \\ 152,0553 \text{ KN} &\leq 0,66\sqrt{35} 250 \cdot 390,5 \\ 152,0553 \text{ KN} &\leq 381,1878 \text{ KN (OK)}\end{aligned}$$

Menghitung spasi tulangan sengkang:

$$\begin{aligned}S &= \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} \\ &= 169,4294 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek spasi sengkang tumpuan:

Syarat:  $S \leq S_{max}$

$$V_s \leq 0,33\sqrt{f'_c}b_wd \text{ maka } s \leq d/2 \text{ atau } 600 \text{ mm}$$

$$V_s \geq 0,33\sqrt{f'_c}b_wd \text{ maka } s \leq d/4 \text{ atau } 300 \text{ mm}$$

$$V_s = 152055,2609 \text{ N}$$

$$0,33\sqrt{f'_c}b_wd = 190593,9053 \text{ N}$$

karena  $V_s \leq 0,33\sqrt{f'_c}b_wd$  maka spasi sengkang tulangan geser tidak boleh lebih dari  $\frac{1}{2}$  tinggi efektif balok dan 600 mm.

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

$$S_{max 1} (d/2) = 190,25 \text{ mm}$$

$$S_{max 2} = 600 \text{ mm}$$

$$S = 150 \text{ mm} \leq S_{max 1} = 190,25 \text{ mm (AMAN)}$$

$$S = 150 \text{ mm} \leq S_{max 2} = 600 \text{ mm (AMAN)}$$

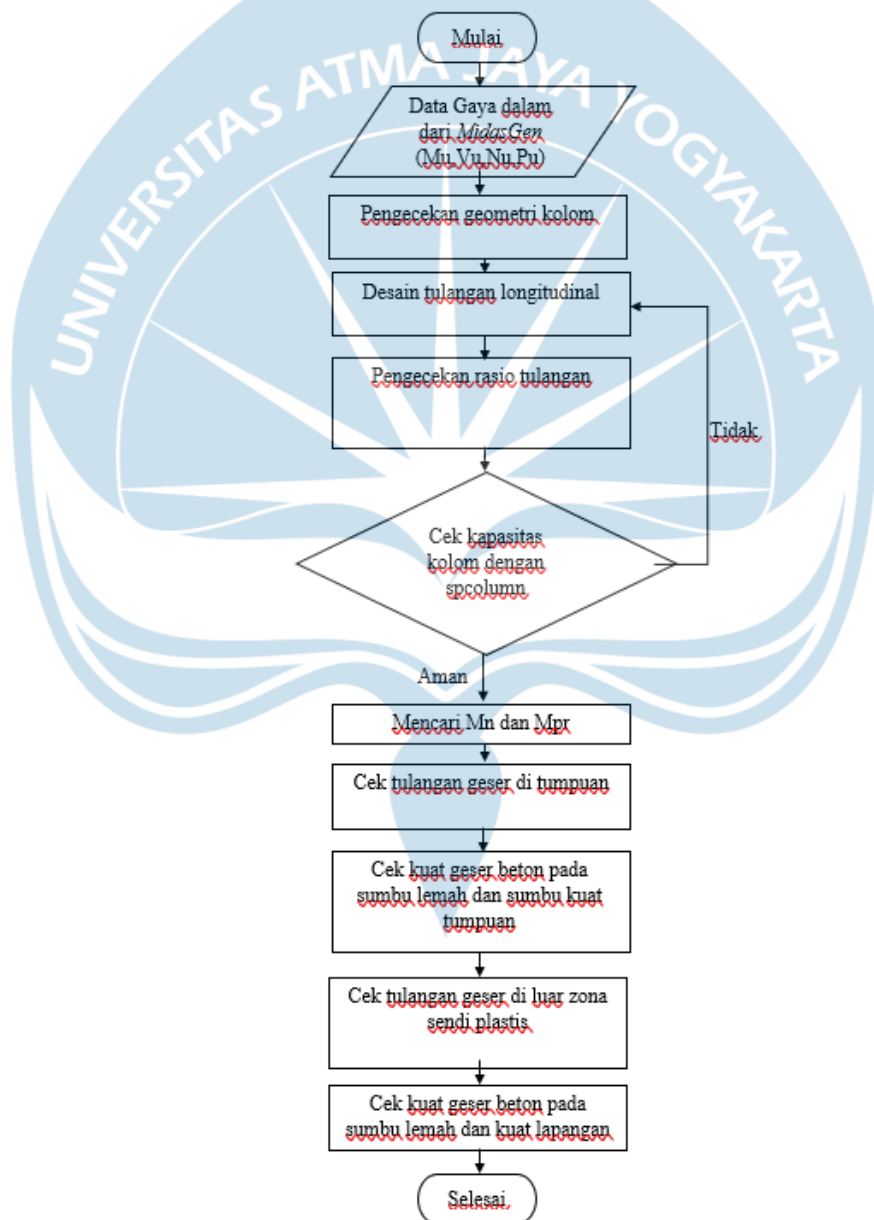
## 2.8 Perancangan Kolom

Perancangan kolom pada Gedung Youth Center mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 18.7 hingga 18.8 yang mengatur mengenai Sistem Rangka

Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang didesain untuk memikul gaya lentur, geser dan aksial. Berikut syarat dimensi penampang kolom:

- a. Dimensi kolom terkecil harus tidak kurang dari 300 mm.
- b. Rasio penampang terkecil terhadap dimensi lain yang tegak lurus dengan penampang tersebut harus tidak kurang dari 0,4.

Langkah-langkah perancangan kolom dapat dilihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Flowchart Perancangan Kolom

### 2.8.1 Kolom 1 (550x550)

Perhitungan kolom 1 dilakukan dengan mengambil gaya dalam melalui *software midas*. Berikut gaya dalam yang diambil untuk dimasukkan ke *Spcolumn* guna perancangan kolom.

Pu max	= 9,97 KN
Pu min	= -3410,32 KN
M2 max	= 342,17 KNm
M2 min	= -318,28 KNm
M3 max	= 305,36 KNm
M3 min	= -324,51 KNm
V2	= 228,03 KN
V3	= 156,9 KN
Nu (Gaya tekan terkecil)	= -0,01 KN

#### 1. Material dan penampang :

Panjang/tinggi kolom (L)	= 4000 mm
Sisi pendek kolom, (b)	= 550 mm
Sisi panjang kolom (h)	= 550 mm
Tulangan longitudinal (db)	= 25 mm
Tulangan transversal (ds)	= 13 mm
Selimut bersih (cc)	= 40 mm
Kuat tekan ( $f'_c$ )	= 35 MPa
Kuat leleh tulangan longitudinal ( $f_y$ )	= 420 MPa
Kuat leleh tulangan transversal ( $f_{yv}$ )	= 280 MPa
Tinggi balok (hb)	= 700 mm
Ln (L-hb)	= 3300 mm

#### 2. Syarat Geometri:

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.7.2.1, kolom harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

Syarat: Dimensi penampang terkecil tidak kurang dari 300 mm

$b = 550 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$  (AMAN)

Syarat: Rasio dimensi penampang terkecil terhadap penampang tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

$$b/h = 550/550 = 1 > 0,4 \text{ (AMAN)}$$

3. Pengecekan terhadap gaya dalam aksial lentur menggunakan *Spcolumn*:

Dari hasil pengecekan dengan *spcolumn* didapatkan desain kolom sebagai berikut:

Jumlah tulangan (n)	= 12
Luas tulangan longitudinal (As)	= $n \frac{1}{4} \pi db^2$
	= $12 \frac{1}{4} \pi 25^2$
	= 5890,5 mm <sup>2</sup>
Rasio tulangan (ρ)	= $\frac{As}{bh}$
	= $\frac{5890,5}{302500}$
	= 1,95%

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.7.4.1, luas tulangan longitudinal memiliki persyaratan yaitu tidak boleh kurang dari 0,01Ag dan tidak boleh melebihi 0,06Ag. Pada kolom 1, rasio tulangan didapatkan 1,95%. Karena  $1\% < 1,95\% < 6\%$  maka rasio tulangan memenuhi persyaratan.

4. Pengecekan SCWB

Dari hasil *Spcolumn* pada 6 kondisi kritis, didapatkan output sebagai berikut.

Mnc	= 563,689 KNm
Mn <sup>-</sup> tumpuan balok	= 294,193 KNm
Mn <sup>+</sup> tumpuan balok	= 294,193 KNm

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.7.3.2, kekuatan lentur kolom harus memenuhi persamaan berikut.

$$\sum Mnc \geq (1,2) \sum Mnb$$

Dimana,  $\sum Mnc$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom dan  $\sum Mnb$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok.

Maka,

$$SCWB = (563,689 + 563,689) \geq (1,2)(294,193 + 294,193)$$

$$SCWB = (1127,38) \geq (1,2)(294,193 + 294,193)$$

$$SCWB = 1127,38 \geq 706,0632 \text{ (AMAN)}$$

Karena  $M_{nc} > 1,2M_{nb}$ , maka kolom memenuhi syarat *strong column weak beam*.

#### 5. Desain Transversal

Dalam merencanakan tulangan transversal perlu mengetahui zona sendi plastis pada kolom terlebih dahulu. Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.7.5.1 panjang zona sendi plastis tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari:

a. Tinggi kolom pada muka joint atau penampang

$$\begin{aligned} I_{o1} &= h \\ &= 550 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Seperenam dari tinggi bersih kolom

$$\begin{aligned} I_{o2} &= L_n/6 \\ &= 3300/6 \\ &= 550 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. 450 mm

$$I_{o3} = 450 \text{ mm}$$

Maka area zona sendi plastis kolom adalah 550 mm.

Jumlah kaki sisi pendek,  $n_1 = 4$

Jumlah kaki sisi panjang,  $n_2 = 4$

Spasi,  $s = 50 \text{ mm}$

Spasi kaki terbesar  $= 139,67 \text{ mm}$

Luas penampang transversal ( $A_{sh1}$ ),

$$\begin{aligned} A_{sh1} &= n \frac{1}{4} \pi d_s^2 \\ &= 4 \frac{1}{4} \pi 13^2 \\ &= 530,929 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Ash } 2 &= n \frac{1}{4} \pi d s^2 \\ &= 4 \frac{1}{4} \pi 13^2 \\ &= 530,929 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash/s, 1} &= \frac{\text{Ash}1}{s} \\ &= \frac{530,929}{50} \\ &= 10,619 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash/s, 2} &= \frac{\text{Ash}1}{s} \\ &= \frac{530,929}{50} \\ &= 10,619 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Perhitungan kekangan pada area sendi plastis:

$$\begin{aligned} \text{Lebar penampang inti beton, (bc)} &= b - 2c_c \\ &= 550 - 80 \\ &= 470 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang penampang inti beton (hc)} &= h - 2c_c \\ &= 550 - 80 \\ &= 470 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang kolom (Ag)} &= bh \\ &= 550 \cdot 550 \\ &= 302500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang inti beton (Ach)} &= bc \cdot hc \\ &= 470 \cdot 470 \\ &= 220900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan sisi penampang pendek/sumbu lemah:

Berdasarkan SNI 2947:2019 Tabel 18.7.5.4 terdapat persamaan yang berlaku pada tulangan transversal untuk kolom SRPMK.

$$\begin{aligned} P_u &= 3410,32 \text{ KN} \\ 0,3A_g f_c &= 0,3 (302500) (35) \\ &= 3176250 \text{ N} \end{aligned}$$

$$=3176,250 \text{ KN}$$

$$f'c = 35 \text{ MPa} < 70 \text{ MPa}$$

Karena  $P_u > 0,3A_gf'c$ , maka perlu mencari faktor kekuatan beton (kf) dan faktor keefektifan pengekanan kn.

$$Kf = \frac{f'c}{175} + 0,6 \geq 1,0$$

$$Kn = \left(\frac{nl}{nl-2}\right)$$

Dimana,

nl = jumlah batang longitudinal di sekeliling inti kolom dengan sengkang persegi.

$$Kf = \frac{35}{175} + 0,6 \geq 1,0$$

$$= 0,8 \geq 1,0 \text{ (karena } kf < 1 \text{ maka digunakan } kf=1)$$

$$Kn = \left(\frac{nl}{nl-2}\right)$$

$$= \left(\frac{12}{12-2}\right)$$

$$= 1,2$$

maka,

$$\begin{aligned} \text{Ash/s min 1,} &= 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \left(\frac{b_c \cdot f'c'}{f_{yv}}\right) \\ &= 0,3 \left(\frac{302500}{220900} - 1\right) \left(\frac{470 \cdot 35}{280}\right) \\ &= 6,511 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash/s min 2,} &= 0,09 \left(\frac{f'c'}{f_{yv}}\right) \cdot bc \\ &= 0,09 \left(\frac{35}{280}\right) \cdot 470 \\ &= 5,288 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash/s min 3,} &= 0,2kfkkn\left(\frac{P_u}{f_{yt} \cdot A_{ch}}\right) \cdot bc \\ &= 0,2 \cdot 1 \cdot 1,2 \left(\frac{3410,32 \times 10^3}{280 \cdot 220900}\right) \cdot 470 \\ &= 4,1463 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Syarat: tulangan transversal untuk sengkang pengekan persegi harus lebih besar dari nilai terbesar luas tulangan transversal minimum.

$$\text{Ash/s min terbesar} = 6,511 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Ash/s} = 10,619 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Ash/s} > \text{Ash/s min terbesar}$$

$$10,619 > 6,511 \text{ (AMAN)}$$

Perhitungan sisi penampang panjang/sumbu kuat:

Ash/s min 1,

$$\begin{aligned} &= 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left( \frac{h_c \cdot f_c'}{f_{yv}} \right) \\ &= 0,3 \left( \frac{302500}{220900} - 1 \right) \left( \frac{470 \cdot 35}{280} \right) \\ &= 6,511 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Ash/s min 2,

$$\begin{aligned} &= 0,09 \left( \frac{f_c'}{f_{yv}} \right) \cdot h_c \\ &= 0,09 \left( \frac{35}{280} \right) \cdot 470 \\ &= 5,288 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Ash/s min 3,

$$\begin{aligned} &= 0,2kfn \left( \frac{P_u}{f_{yt} \cdot A_{ch}} \right) \cdot h_c \\ &= 0,2 \cdot 1 \cdot 1,2 \left( \frac{3410,32 \times 10^3}{280 \cdot 220900} \right) \cdot 470 \\ &= 4,1463 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Syarat:  $\text{Ash/s} > \text{Ash/s min terbesar}$

$$\text{Ash/s min terbesar} = 6,511 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Ash/s} = 10,619 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Ash/s} > \text{Ash/s min terbesar}$$

$$10,619 > 6,511 \text{ (AMAN)}$$

Pengecekan spasi:

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.7.5.3 spasi tulangan transversal tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

a.  $\frac{1}{4}$  dimensi terkecil penampang kolom

b. enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$c. S_o = 100 + \left( \frac{350 - hx}{3} \right)$$

Dimana,  $hx$  adalah spasi kaki terbesar ( $x_i$ ) dan nilai  $S_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm.

$$\begin{aligned} \text{Maka, } S_{\max 1} &= \frac{1}{4} b \\ &= \frac{1}{4} (550) \\ &= 137,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\max 2} &= 6d_b \\ &= 6(25) \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\max 3} &= 100 + \left( \frac{350 - hx}{3} \right) \\ &= 100 + \left( \frac{350 - 139,67}{3} \right) \\ &= 170,111 > 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Maka } S_{\max 3} = 150 \text{ mm}$$

$S$  maksimal diambil dari nilai terkecil antara persamaan  $S_{\max 1}$ ,  $S_{\max 2}$  dan  $S_{\max 3}$  sehingga didapatkan nilai  $s$  maksimal sebesar 137,5 mm.

Spasi yang digunakan adalah 50 mm < 137,5 mm (AMAN).

Kuat geser zona sendi plastis:

$M_{pr}$  kolom didapatkan dari  $S_{pcolumn} = 668,611 \text{ KNm}$

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{\sum M_{Pr}}{l_n} \\ &= \frac{(668,611 + 668,611) \times 10^6}{3300} \\ &= 405219 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{u2, \text{sumbu lemah}} = 228030 \text{ N}$$

$$V_{u2, \text{sumbu kuat}} = 156900 \text{ N}$$

Tahanan geser beton sumbu lemah:

$$\begin{aligned} V_u &= \text{nilai terbesar (} V_{u1} \text{ dan } V_{u2}) \\ &= 405219 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,75 \text{ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - cc - ds - db / 2 \\
 &= 550 - 40 - 13 - 25/2 \\
 &= 484,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,017 \times \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \times \sqrt{f'c} \times bc \times d \\
 &= 0,017 \times \left(1 + \frac{0,01 \times 1000}{14 \times 302500}\right) \times 35^{0,5} \times 550 \times 484,5 \\
 &= 268003 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{sperlu} &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{405219}{0,75} - 268003 \\
 &= 272288 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As/s \text{ perlu} &= \frac{V_s}{f_{yv}} \times d \\
 &= \frac{272288}{280} \times 484,5 \\
 &= 2,0071 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 10.6.2.2 apabila tulangan geser diperlukan maka luas tulangan harus lebih besar dari:

$$\text{a. } 0,062 \sqrt{f'c} \frac{bw s}{f_{yv}} = 0,062 \sqrt{35} \frac{550}{280} = 0,7205 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{b. } 0,35 \frac{bw s}{f_{yv}} = 0,35 \frac{550}{280} = 0,6875 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Pengecekan  $A_v/s$ :

$$A_v/s \text{ terpasang} = 10,619 \geq A_v/s \text{ min1} = 0,7205 \text{ (AMAN)}$$

$$A_v/s \text{ terpasang} = 10,619 \geq A_v/s \text{ min2} = 0,6875 \text{ (AMAN)}$$

$$A_v/s \text{ terpasang} = 10,619 \geq A_v/s \text{ perlu} = 2,0071 \text{ (AMAN)}$$

Tahanan geser beton sumbu kuat:

$$\begin{aligned}
 V_u &= \text{nilai terbesar (Vu1 dan Vu2)} \\
 &= 405219 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - cc - ds - db / 2 \\
 &= 550 - 40 - 13 - 25/2
 \end{aligned}$$

$$=484,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,017 \left( 1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \sqrt{f'c} \text{ hc } d \\ &= 0,017 \left( 1 + \frac{0,01 \cdot 1000}{14 \cdot 302500} \right) 35^{0,5} \cdot 550 \cdot 484,5 \\ &= 268003 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{perlu}} &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{405219}{0,75} - 268003 \\ &= 272288 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s/s} \text{ perlu} &= \frac{V_s}{f_{yv}} d \\ &= \frac{272288}{280} \cdot 484,5 \\ &= 2,0071 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 10.6.2.2 apabila tulangan geser diperlukan maka luas tulangan harus lebih besar dari:

$$\text{a. } 0,062 \sqrt{f'c} \frac{bw s}{f_{yv}} = 0,062 \sqrt{35} \frac{550}{280} = 0,7205 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{b. } 0,35 \frac{bw s}{f_{yv}} = 0,35 \frac{550}{280} = 0,6875 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Pengecekan  $A_{v/s}$ :

$$A_{v/s} \text{ terpasang} = 10,619 \geq A_{v/s} \text{ min1} = 0,7205 \text{ (AMAN)}$$

$$A_{v/s} \text{ terpasang} = 10,619 \geq A_{v/s} \text{ min2} = 0,6875 \text{ (AMAN)}$$

$$A_{v/s} \text{ terpasang} = 10,619 \geq A_{v/s} \text{ perlu} = 0,2,0071 \text{ (AMAN)}$$

Tulangan transversal luar zona sendi plastis (lapangan):

Jumlah kaki sisi pendek,  $n_1 = 2$

Jumlah kaki sisi panjang,  $n_2 = 2$

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

$$\begin{aligned} A_{v1} &= n \frac{1}{4} \pi d s^2 \\ &= 2 \frac{1}{4} \pi 13^2 \\ &= 265,465 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v2 &= n \frac{1}{4} \pi d s^2 \\
 &= 2 \frac{1}{4} \pi 13^2 \\
 &= 265,465 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.7.5.5, nilai spasi sengkang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari enam kali diameter tulangan longitudinal dan 150 mm.

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, Spasi max 1} &= 6db \\
 &= 6 (25) \\
 &= 150 \text{ mm} \\
 \text{Spasi max 2} &= 150 \text{ mm} \\
 \text{Pengecekan spasi} &= 100 \text{ mm} < 150 \text{ mm (AMAN)}
 \end{aligned}$$

Kuat geser luar zona sendi plastis:

$$\begin{aligned}
 V_{u2, \text{sumbu lemah}} &= 228030 \text{ N} \\
 V_{u2, \text{sumbu kuat}} &= 156900 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tahanan geser beton sumbu lemah:

$$\begin{aligned}
 \Phi &= 0,75 \text{ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)} \\
 d &= h - cc - ds - db / 2 \\
 &= 550 - 40 - 13 - 25/2 \\
 &= 484,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,017 \left( 1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \cdot \sqrt{f'c} \cdot bc \cdot d \\
 &= 0,017 \left( 1 + \frac{0,01 \cdot 1000}{14 \cdot 302500} \right) \cdot \sqrt{35} \cdot 550 \cdot 484,5 \\
 &= 268003 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{sperlu} &= \frac{V_u}{\Phi} - V_c \\
 &= \frac{228030}{0,75} - 268003 \\
 &= 36037 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As/s perlu} &= \frac{V_s}{f_{yv}} \times d \\
 &= \frac{36037}{280} (484,5)
 \end{aligned}$$

$$= 0,2656 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 10.6.2.2 apabila tulangan geser diperlukan maka luas tulangan harus lebih besar dari:

$$\text{a. } 0,062 \sqrt{f'c} \frac{bwS}{f_{yv}} = 0,062 \sqrt{35} \frac{550}{280} = 0,7205 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{b. } 0,35 \frac{bwS}{f_{yv}} = 0,35 \frac{550}{280} = 0,6875 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Pengecekan  $A_v/s$ :

$$A_v/s \text{ terpasang} = 2,6546 \geq A_v/s \text{ min1} = 0,7205 \text{ (AMAN)}$$

$$A_v/s \text{ terpasang} = 2,6546 \geq A_v/s \text{ min2} = 0,6875 \text{ (AMAN)}$$

$$A_v/s \text{ terpasang} = 2,6546 \geq A_v/s \text{ perlu} = 0,2656 \text{ (AMAN)}$$

Tahanan geser beton sumbu kuat:

$$V_u = 156900 \text{ N}$$

$$\Phi = 0,75 \text{ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)}$$

$$\begin{aligned} d &= h - cc - ds - db / 2 \\ &= 550 - 40 - 13 - 25/2 \\ &= 484,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,017 \left( 1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \sqrt{f'c} hc d \\ &= 0,017 \left( 1 + \frac{0,01 \cdot 1000}{14 \cdot 302500} \right) \sqrt{35} \cdot 550 \cdot 484,5 \\ &= 268003 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{sperlu}} &= \frac{V_u}{\Phi} - V_c \\ &= \frac{156900}{0,75} - 268003 \\ &= -58803 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 22.5.10.1, nilai  $V_s$  perlu harus lebih besar dari  $\frac{V_u}{\Phi} - V_c$  sedangkan  $v_{\text{sperlu}}$  yang didapatkan bernilai negatif. Maka dari itu, hanya diperlukan tulangan minimum saja.



Kesimpulan:

Kesimpulan dari perhitungan kolom tipe 1 adalah kolom memenuhi syarat geometri, kapasitas lentur dan kapasitas geser dengan jumlah tulangan 12 dan diameter 25 mm untuk tulangan longitudinal dan 4D13-50 mm tulangan transversal pada sumbu lemah dan kuat tumpuan serta 2D13-100 mm pada lapangan.

### 2.8.1 Rekapitulasi Perancangan Kolom

Perancangan kolom tipe lain pada Gedung Youth Center dilakukan dengan perhitungan yang sama dengan perhitungan kolom 1. Berikut tabel rekapitulasi gaya dalam kolom tipe lain pada Gedung Youth Center dapat dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Rekap Gaya Dalam Pada Kolom

Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
P max (KN)	-126.55	-165.12	17.56
P min (KN)	-2174.72	-1112.73	-124.5
M2 Max (KNm)	281.14	209.02	65.73
M2 Min (KNm)	-271.21	-228.62	-66.53
M3 Max (KNm)	253.77	237.53	52.9
M3 Min (KNm)	-234.57	-243.15	-47.47
V2 (kN)	117.68	112.92	54.37
V3 (kN)	147.2	105.72	64.36
Nu (kN)	-126.55	-165.12	-4.59

Dari tabel 2.15 didapatkan gaya dalam pada kolom tipe 2, 3 dan 4. Gaya dalam diatas diambil pada kondisi kritis untuk selanjutnya dianalisis menggunakan perangkat lunak *Spcolumn*. Hal tersebut dilakukan guna mencari momen nominal dari kolom dan membantu dalam perancangan

tulangan kolom. Dalam perancangan kolom perlu mengetahui property penampang kolom terlebih dahulu. Properti kolom dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Rekap Properti Penampang Kolom

Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
Panjang/Tinggi Kolom, L	4000	4000	1000
Sisi Pendek Kolom, b	500	450	300
Sisi Panjang Kolom, h	500	450	300
Diameter Tulangan Longitudinal, $d_b$	22	22	16
Diameter Tulangan Sengkang, $d_s$	13	13	13
Selimit Bersih, $c_c$	40	40	40
Kuat Tekan Beton, $f_c'$	35	35	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, $f_y$	420	420	420
Kuat Leleh Tul. Transversal, $f_{yv}$	280	280	280
Tinggi Balok, $h_b$	600	600	600
$L_n$	3400	3400	400

Apabila telah didapatkan data penampang kolom maka selanjutnya dilakukan pengecekan geometri pada penampang kolom. pengecekan penampang dilakukan berdasarkan syarat sisi terpendek kolom dan rasio dimensi penampang. Kolom SRPMK memiliki syarat lebar minimal sebesar 300 mm. Selain itu, kolom juga harus memiliki rasio dimensi tidak lebih kecil dari 0,4. Hasil pengecekan geometri penampang dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 Rekap Pengecekan Geometri Penampang Kolom

Cek Geometri			
	Tipe Kolom		
Keterangan	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
Syarat Sisi Terpendek	$b = 500 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$	$b = 450 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$	$b = 300 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$
	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Syarat Rasio Dimensi Penampang	$b/h = 1 > 0,4$	$b/h = 1 > 0,4$	$b/h = 1 > 0,4$
	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa ketiga tipe kolom memenuhi persyaratan geometri penampang. Maka pengecekan dapat berlanjut ke pengecekan menggunakan *Spcolumn*. Pada pengecekan kolom dengan menggunakan *Spcolumn*, masing – masing kolom didesain harus memenuhi syarat rasio tulangan dan momen nominal. Rekap output *Spcolumn* dapat dilihat pada Tabel 2.18.

Tabel 2.18 Rekap Output *Spcolumn*

Pengecekan gaya dalam dengan <i>Spcolumn</i>			
	Tipe Kolom		
Keterangan	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
Jumlah Tulangan, n	12	8	8
Luas Tulangan Longitudinal, $A_s$	4561.6	3041.1	1608.5
Rasio Tulangan, $\rho$	1.82%	1.50%	1.79%
Cek $\rho_{\min}$ dan $\rho_{\max}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Mn	452.969	330.710	82.049

Momen nominal kolom yang didapatkan dari perangkat lunak *Spcolumn* di analisis terhadap momen nominal balok untuk mengecek SCWB pada joint HBK. Rekap pengecekan SCWB dapat dilihat pada Tabel 2.19.

Tabel 2.19 Rekap Pengecekan SCWB

Pengecekan SCWB		
Keterangan	Tipe Kolom	
	K2 50X50	K3 45X45
Momen Nominal Kolom, $M_{nc}$	452.969	330.710
$M_n^-$ Tumpuan Balok	244.745	244.745
$M_n^+$ Tumpuan Balok	244.745	244.745
2Mnc	905.938	661.42
$1,2(M_n^- + M_n^+)$	587.388	587.388
Cek SCWB	Memenuhi	Memenuhi

Dari Tabel 2.19 didapatkan hasil bahwa kolom memenuhi persyaratan SCWB. Maka analisis dapat lanjut ke perancangan tulangan geser pada kolom. Dalam menentukan tulangan geser perlu dilakukan pengecekan area tumpuan atau zona sendi plastis pada kolom. Pengecekan zona sendi plastis dapat dilihat pada Tabel 2.20.

Tabel 2.20 Rekap Pengecekan Area Zona Sendi Plastis

SNI:2847 ps 18.7.5.1				
Keterangan		Tipe Kolom		
		K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
$l_{o1}$	h	500.0	450.0	300.0
$l_{o2}$	$L_n / 6$	566.7	566.7	66.7
$l_{o3}$	450 mm	450	450	450
$l_o$	Max ( $l_{o1}$ ; $l_{o2}$ ; $l_{o3}$ )	566.7	566.7	450.0

Setelah didapatkan area zona sendi plastis maka dapat dilakukan desain tulangan transversal pada area sendi plastis kolom sekaligus mengecek kekangan zona sendi plastis. Rekap tulangan transversal pada area sendi plastis dan kekangan zona sendi plastis dapat dilihat pada Tabel 2.21 dan Tabel 2.22.

Tabel 2.21 Rekap Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis

Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
Jumlah Kaki Sisi Pendek, n1	4	3	3
Jumlah Kaki Sisi Panjang, n2	4	3	3
Spasi, s	50	50	50
$X_{i \max}$	124	107.333	59.333
$A_{sh \ 1}$	530.929	398.197	398.197
$A_{sh \ 2}$	530.929	398.197	398.197
$A_{sh} / s, 1$	10.619	7.964	7.964
$A_{sh} / s, 2$	10.619	7.964	7.964

Tabel 2.22 Rekap Kekangan Zona Sendi Plastis

<b>Kekangan Zona Sendi Plastis</b>			
Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
Lebar Penampang Inti Beton, $b_c$	420	370	220
Panjang Penampang Inti Beton, $h_c$	420	370	220

Tabel 2.22 Lanjutan

Luas Penampang Kolom, Ag	250000	202500	90000
Luas Penampang Inti Beton, Ach	176400	136900	48400
<b>Sumbu lemah</b>			
Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
$A_{sh/s}$ min, 1	6.571	6.649	7.091
$A_{sh/s}$ min, 2	4.725	4.163	2.475
Cek $A_{sh/s}$ 1	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
<b>Sumbu kuat</b>			
Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
$A_{sh/s}$ min, 1	6.571	6.649	7.091
$A_{sh/s}$ min, 2	4.725	4.163	2.475
Cek $A_{sh/s}$ 1	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
<b>Cek spasi</b>			
Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
$S_{max,1}$	125	112.5	75
$S_{max,2}$	132	132	96
$h_x$	124	107.333	59.3333
$S_{max,3} = S_o$	150	150	150
$S_{max}$	125	112.5	75
Cek Spasi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Dari Tabel 2.22 didapatkan hasil bahwa spasi yang di desain memenuhi syarat sehingga dapat masuk ke step berikutnya. Pada langkah berikut ini

dilakukan perhitungan kuat geser pada area sendi plastis kolom. Rekap kuat geser pada area sendi plastis dapat dilihat pada Tabel 2.23.

Tabel 2.23 Rekap Kuat Geser Area Sendi Plastis

Kuat Geser Area Sendi Plastis			
Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
$M_{pr}$ Kolom	459.015	340.831	76.914
$V_{u1}$	270009	200489	384570
$V_{u2}$ , Sumbu Lemah	117680	112920	54370
$V_{u2}$ , Sumbu Kuat	147200	105720	64360

Setelah didapatkan data  $V_u$ , sumbu kuat dan sumbu lemah maka dapat dilakukan pengecekan tahanan geser beton pada sumbu kuat dan sumbu lemah yang dapat dilihat pada Tabel 2.24 dan Tabel 2.25.

Tabel 2.24 Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah Tumpuan

Tahanan Geser Beton Sumbu lemah Area Tumpuan			
Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
$V_u$	270009	200489	384570
$\phi$	0.75	0.75	0.75
$V_c$	227177	184871	72374
$V_s$ Perlu	132835	82447	440386
$A_s/s$ Perlu	1.0881	0.7628	6.5808
$A_s/s$ Min 1	0.6550	0.5895	0.3930
$A_s/s$ Min 2	0.6250	0.5625	0.3750
Cek $A_s/s$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.25 Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat Tumpuan

Tahanan Geser Beton Sumbu kuat			
Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
$V_u$	270009	200489	384570
$\phi$	0.75	0.75	0.75
$V_c$	227177	184871	72374
$V_s$ Perlu	132835	82447	440386
$A_s/s$ Perlu	1.0881	0.7628	6.5808
$A_s/s$ Min 1	0.6550	0.5895	0.3930
$A_s/s$ Min 2	0.6250	0.5625	0.3750
Cek $A_s/s$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Apabila tulangan geser yang didesain telah memenuhi maka lakukan hal yang sama pada zona luar sendi plastis yang dapat dilihat pada Tabel 2.26, Tabel 2.27, dan Tabel 2.28.

Tabel 2.26 Rekap Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis

Tulangan Transversal Pada Zona Luar Sendi Plastis			
Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
Jumlah Kaki Sisi Pendek, $n_1$	2	2	2
Jumlah Kaki Sisi Panjang, $n_2$	2	2	2
Spasi, $s$	100	100	100
$A_v$ Sumbu Lemah	265.465	265.465	265.465
$A_v$ Sumbu Kuat	265.465	265.465	265.465
Spasi max	150	150	150
$S < S_{max}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi



Tabel 2.27 Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah Lapangan

Tahanan Geser Beton Sumbu lemah			
Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
$V_u$	117680	112920	384570
$\phi$	0.75	0.75	0.75
$V_c$	227177	184871	72374
$V_s$ Perlu	0	0	440386
$A_s/s$ Perlu	0.0000	0.0000	6.5808
$A_s/s$ Min 1	0.0000	0.0000	0.3930
$A_s/s$ Min 2	0.0000	0.0000	0.3750
$A_s/s > A_s/s$ Perlu	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.28 Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat Lapangan

Tahanan Geser Beton Sumbu kuat			
Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
$V_u$	147200	105720	384570
$\phi$	0.75	0.75	0.75
$V_c$	227177	184871	72374
$V_s$ Perlu	0	0	440386
$A_s/s$ Perlu	0.0000	0.0000	6.5808
$A_s/s$ Min 1	0.0000	0.0000	0.3930
$A_s/s$ Min 2	0.0000	0.0000	0.3750
$A_s/s > A_s/s$ Perlu	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Dari perhitungan tulangan geser pada area tumpuan dan lapangan didapatkan hasil bahwa tulangan memenuhi sehingga kolom tipe 2, tipe 3 dan tipe 4 memenuhi kapasitas lentur dan kapasitas geser. Rekapitulasi dapat dilihat pada Tabel 2.29.

Tabel 2.29 Rekap Kesimpulan Kolom

Kesimpulan			
Keterangan	Tipe Kolom		
	K2 50X50	K3 45X45	K4 30X30
Syarat Geometri	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Kapasitas lentur	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Kapasitas geser	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Tulangan longitudinal	12 D22	8 D22	8 D16
Tulangan transversal tumpuan sumbu lemah	4D13-50	3D13-50	3D13-50
Tulangan transversal tumpuan sumbu kuat	4D13-50	3D13-50	3D13-50
Tulangan transversal lapangan sumbu lemah	2D13-100	2D13-100	2D13-100
Tulangan transversal lapangan sumbu kuat	2D13-100	2D13-100	2D13-100

## 2.9 Hubungan Balok Kolom

Pertemuan antara balok dan kolom pada Gedung Youth Center disebut joint. Joint sangat perlu diperhatikan karena detailnya dapat memengaruhi kekangan pada joint sehingga perlu dilakukan pengecekan HBK (Hubungan Balok-Kolom). Apabila HBK tidak memenuhi standar keamanan maka bangunan dapat hancur. Persyaratan umum HBK tercantum pada SNI 2847:2019 ps 18.8.2 yang berisi:

- a. Gaya tulangan longitudinal balok di muka joint ditentukan dengan menganggap tegangan tulangan tarik  $1,25f_y$ .
- b. Panjang penyaluran tulangan longitudinal balok yang berhenti di muka kolom harus cukup hingga sisi terjauh dari inti kolom.

- c. Bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui joint balok-kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal. Untuk beton ringan, dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan.
- d. Tinggi joint  $h$  tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok-balok yang merangka pada joint tersebut dan yang menyebabkan geser pada joint sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik.

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.8.3, tulangan transversal pada joint harus memenuhi:

- a. Bila lebar setiap balok di keempat sisi joint sebesar 0,75 dari lebar kolom maka jumlah tulangan dapat direduksi setengahnya dan spasi dapat ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok  $h$  terendah.

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.8.4.1 kekuatan geser  $V_n$  joint harus sesuai dengan Tabel 2.30.

Tabel 2.30 Kuat geser nominal joint ( $V_n$ )

Konfigurasi <i>Joint</i>	$V_n$
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya <sup>[1]</sup>	$1,7\lambda\sqrt{f'_c}A_j^{[2]}$
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan <sup>[1]</sup>	$1,2\lambda\sqrt{f'_c}A_j^{[2]}$
Untuk kasus-kasus lainnya	$1,0\lambda\sqrt{f'_c}A_j^{[2]}$

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 18.8.4.1

### 2.9.1 Hubungan balok B2 dengan kolom K3

Berikut ini disajikan perhitungan pengecekan HBK pada balok B2

(250x450) dan kolom K3 (450 x 450) pada lantai 3 Gedung Youth Center:

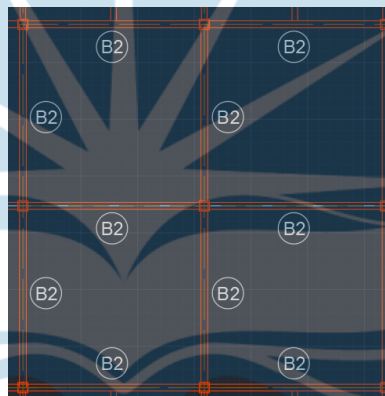
Lebar arah Y kolom ( $b$ ) = 450 mm

Lebar arah X kolom ( $h$ ) = 450 mm

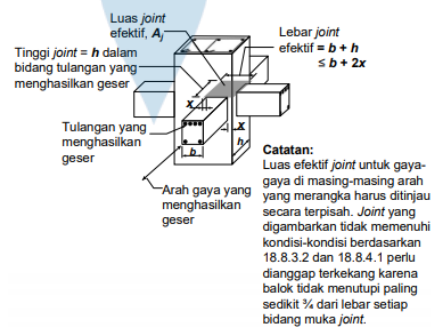
Panjang kolom ( $L$ ) = 4000 mm

Mutu beton ( $f'c$ ) = 35 MPa  
 Kuat leleh baja ( $f_y$ ) = 420 MPa  
 Faktor beton normal ( $\lambda$ ) = 1  
 Tinggi balok terbesar ( $h_b$ ) = 600 mm  
 Panjang bersih kolom ( $L_n$ ) =  $L - h_b$   
 = 3400 mm  
 Lebar balok 1,  $bb_1$  = 300 mm  
 Lebar balok 2,  $bb_2$  = 300 mm  
 Lebar balok 3,  $bb_3$  = 300 mm  
 Lebar balok 4,  $bb_4$  = 300 mm

Joint dapat dilihat pada Gambar 2.23 yang memvisualisasikan joint tumpak atas dan Gambar 2.24 yang menjelaskan mengenai luas joint.




Gambar 2.23 Joint Tampak Atas



Gambar R18.8.4 – Luas joint efektif

Gambar 2.24 Luas Joint Efektif

Sumber: SNI:2847 R18.8.4



Lebar bersih kolom (x1a) =  $(h-bb1)/2$   
 =  $(450-300)/2$   
 = 75 mm

Lebar bersih kolom (x1b) =  $(h-bb1)/2$   
 =  $(450-300)/2$   
 = 75 mm

Cek lebar sisi kolom 1 =  $bb1+x1a+x1b$   
 =  $300+75+75$   
 = 450

Lebar bersih kolom (x2a) =  $(h-bb2)/2$   
 =  $(450-300)/2$   
 = 75 mm

Lebar bersih kolom (x2b) =  $(h-bb2)/2$   
 =  $(450-300)/2$   
 = 75 mm

Cek lebar sisi kolom 2 =  $bb2+x2a+x2b$   
 =  $300+75+75$   
 = 450

Lebar bersih kolom (x3a) =  $(h-bb3)/2$   
 =  $(450-300)/2$   
 = 75 mm

Lebar bersih kolom (x3b) =  $(h-bb3)/2$   
 =  $(450-300)/2$   
 = 75 mm

Cek lebar sisi kolom 3 =  $bb3+x3a+x3b$   
 =  $300+75+75$   
 = 450

Lebar bersih kolom (x4a) =  $(h-bb4)/2$   
 =  $(450-300)/2$   
 = 75 mm

Lebar bersih kolom (x4b) =  $(h-bb4)/2$

$$= (450-300)/2$$

$$= 75 \text{ mm}$$

$$\text{Cek lebar sisi kolom 4} = bb_4 + x_4 a + x_4 b$$

$$= 300 + 75 + 75$$

$$= 450$$

Dimensi joint:

$$x \text{ terkecil sisi 1, } x_1 = 75 \text{ mm}$$

$$x \text{ terkecil sisi 2, } x_2 = 75 \text{ mm}$$

$$x \text{ terkecil sisi 3, } x_3 = 75 \text{ mm}$$

$$x \text{ terkecil sisi 4, } x_4 = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar joint sisi 1, } bj_1 = 450 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar joint sisi 2, } bj_2 = 450 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar joint sisi 3, } bj_3 = 450 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar joint sisi 4, } bj_4 = 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar efektif joint Y, } bj &= \text{ambil lebar terkecil dari } bj_1 \text{ dan } bj_2 \\ &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar efektif joint X, } hj &= \text{ambil lebar terkecil dari } bj_3 \text{ dan } bj_4 \\ &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas efektif joint gempap X, } A_{jx}, & \\ &= bj \times h \\ &= 450 \times 450 \\ &= 202500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas efektif joint gempap Y, } A_{jy} & \\ &= b \times hj \\ &= 450 \times 450 \\ &= 202500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.8.2.4 tinggi joint (h) tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok-balok yang merangka pada joint sehingga,

$$\begin{aligned} hj > \frac{1}{2} hb &= 450 > \frac{1}{2} 600 \\ &= 450 > 300 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Data dan Gaya tulangan balok:

Diameter tulangan utama balok  $d_b = 19 \text{ mm}$

Cek dimensi kolom:

Syarat :  $b > 20d_b$  (SNI 2847:2019 ps 18.8.2.3)

$b = 450 \text{ mm} > 20(19) = 380 \text{ mm}$  (AMAN)

Tulangan atas balok 1,  $A_s^{-1} = 1134,115 \text{ mm}^2$

Tulangan atas balok 1,  $A_s^{+1} = 1134,115 \text{ mm}^2$

Tulangan atas balok 2,  $A_s^{-2} = 1134,115 \text{ mm}^2$

Tulangan atas balok 2,  $A_s^{+2} = 1134,115 \text{ mm}^2$

Tulangan atas balok 3,  $A_s^{-3} = 1134,115 \text{ mm}^2$

Tulangan atas balok 3,  $A_s^{+3} = 1134,115 \text{ mm}^2$

Tulangan atas balok 4,  $A_s^{-4} = 1134,115 \text{ mm}^2$

Tulangan atas balok 4,  $A_s^{+4} = 1134,115 \text{ mm}^2$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.8.2.1 gaya pada tulangan longitudinal balok di muka joint harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah  $1,25f_y$  sehingga,

Tegangan probabilitas tulangan ( $f_{pr}$ ) =  $1,25 f_y$   
=  $1,25(420)$   
=  $525 \text{ MPa}$

Gaya tulangan atas balok 1,  $F_s^{-1} = A_s \cdot f_{pr}$   
=  $1134,115 \times 525$   
=  $595410 \text{ N}$

Gaya tulangan bawah balok 1,  $F_s^{+1} = 595410 \text{ N}$

Gaya tulangan atas balok 2,  $F_s^{-2} = 595410 \text{ N}$

Gaya tulangan bawah balok 2,  $F_s^{+2} = 595410 \text{ N}$

Gaya tulangan atas balok 3,  $F_s^{-3} = 595410 \text{ N}$

Gaya tulangan bawah balok 3,  $F_s^{+3} = 595410 \text{ N}$

Gaya tulangan atas balok 4,  $F_s^{-4} = 595410 \text{ N}$

Gaya tulangan bawah balok 4,  $F_s^{+4} = 595410 \text{ N}$

Gaya geser akibat balok:

$$\begin{aligned} \text{Geser ketika arah gempa X-} &= F_s^{-3} + C_4 = F_s^{-3} + F_s^{+4} \\ &= 595410 + 595410 \\ &= 1190821 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser ketika arah gempa X+} &= F_s^{-4} + C_3 = F_s^{-4} + F_s^{+3} \\ &= 1190821 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser ketika arah gempa Y-} &= F_s^{-1} + C_2 = F_s^{-1} + F_s^{+2} \\ &= 1190821 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser ketika arah gempa Y+} &= F_s^{-2} + C_1 = F_s^{-2} + F_s^{+1} \\ &= 1190821 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser kolom :

$$M_{pr}^{-} \text{ Balok 1} = 301958594 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^{+} \text{ Balok 1} = 301958594 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^{-} \text{ Balok 2} = 301958594 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^{+} \text{ Balok 2} = 301958594 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^{-} \text{ Balok 3} = 301958594 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^{+} \text{ Balok 3} = 301958594 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^{-} \text{ Balok 4} = 301958594 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^{+} \text{ Balok 4} = 301958594 \text{ Nmm}$$

$$V_e \text{ balok 1} = 315512 \text{ N}$$

$$V_e \text{ balok 2} = 315512 \text{ N}$$

$$V_e \text{ balok 3} = 315512 \text{ N}$$

$$V_e \text{ balok 4} = 315512 \text{ N}$$

Geser kolom ketika arah gempa X<sup>-</sup>,

$$\frac{[(M_{pr}^{+4} + M_{pr}^{-3}) + (V_e3 + V_e4) \frac{1}{2}h]}{L_n} = 219382 \text{ N}$$

Geser kolom ketika arah gempa X<sup>+</sup>,

$$\frac{[(M_{pr}^{+3} + M_{pr}^{-4}) + (V_e3 + V_e4) \frac{1}{2}h]}{L_n} = 219382 \text{ N}$$

Geser kolom ketika arah gempa Y<sup>-</sup>,

$$\frac{[(M_{pr}^{+2} + M_{pr}^{-1}) + (V_e1 + V_e2) \frac{1}{2}h]}{L_n} = 219382 \text{ N}$$



Geser kolom ketika arah gempa  $Y^+$ ,

$$\frac{[(Mpr^+ + Mpr^- 2) + (Ve1 + Ve2) \frac{1}{2} h]}{Ln} = 219382 \text{ N}$$

Gaya geser total joint:

$$\begin{aligned} \text{Geser joint ketika arah gempa } X^- &= F_s + C - V_{col} \\ &= 1190821 - 210382 \\ &= 971439 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser joint ketika arah gempa } X^+ &= F_s + C - V_{col} \\ &= 1190821 - 210382 \\ &= 971439 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser joint ketika arah gempa } Y^- &= F_s + C - V_{col} \\ &= 1190821 - 210382 \\ &= 971439 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser joint ketika arah gempa } Y^+ &= F_s + C - V_{col} \\ &= 1190821 - 210382 \\ &= 971439 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser joint:

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.8.4.2, suatu muka joint dapat dianggap terkekang balok apabila lebar balok  $\frac{3}{4}$  dari lebar efektif joint. Lebar efektif joint telah didapatkan sebesar 450 mm dan lebar balok pada keempat sisi sama sebesar 300 mm.  $\frac{3}{4}$  dari lebar efektif joint didapatkan sebesar 337,5 mm. Maka dapat dikatakan joint tersebut tidak terkekang balok pada keempat sisinya dan nilai kuat geser nominal joint ( $V_n$ ) menggunakan konfigurasi joint ketiga yaitu untuk kasus-kasus lainnya.

$$\text{Konfigurasi joint} = 3$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat geser nominal joint gempa X, } V_{nx} &= 1,0 \lambda \sqrt{f'_c} A_{jx} \\ &= 1,0 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 202500 \\ &= 1198006 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Kuat geser nominal joint gempa Y, } V_{ny} = 1,0 \lambda \sqrt{f'_c} A_{jy}$$

$$\begin{aligned}
&= 1,0 \cdot 1 \sqrt{35} \cdot 202500 \\
&= 1198006 \text{ N} \\
\text{Kuat geser joint gempa X, } \Phi V_{nX} &= 0,85 \cdot 1198006 \\
&= 1018305 \text{ N} \\
\text{Kuat geser joint gempa Y, } \Phi V_{nY} &= 0,85 \cdot 1198006 \\
&= 1018305 \text{ N} \\
\text{Gaya geser ultimit joint gempa, } V_{ux} &= 971439 \text{ N} \\
\text{Gaya geser ultimit joint gempa, } V_{uy} &= 971439 \text{ N} \\
\text{Faktor keamanan gempa X, } S_{FX} &= \Phi V_{nX} / V_{uX} \\
&= 1,048 \\
\text{Faktor keamanan gempa Y, } S_{FY} &= \Phi V_{nY} / V_{uY} \\
&= 1,048 \\
\text{Cek kuat geser joint} &= SF > 1 \\
&= 1,048 > 1 \text{ (AMAN)}
\end{aligned}$$

Panjang penyaluran tarik :

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.8.5.1 panjang penyaluran untuk beton normal tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara  $8d_b$  dan 150 mm.

$$\begin{aligned}
l_{dh} &= \frac{f_{ydb}}{5,4 \lambda \sqrt{f_{rc}}} \\
&= \frac{420,19}{5,4 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \\
&= 249,790 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
l_{dh \text{ min } 1} &= 8d_b \\
&= 8 \cdot 19 \\
&= 152 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$l_{dh \text{ min } 2} = 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh \text{ pakai}} = 249,790 \text{ mm (OK)}$$

Maka dapat disimpulkan hubungan balok dan kolom pada balok tipe 2 dan kolom tipe 3 aman terhadap gaya geser ultimit joint akibat beban gempa dengan nilai angka aman sebesar 1,048.

## 2.10 Perancangan Pelat

Pelat merupakan salah satu elemen struktur yang penting dalam suatu bangunan. Pelat menahan beban hidup dan beban sendiri berdasarkan dimensi dan fungsi ruang. Gedung Youth Center didesain dengan pelat dua arah setebal 130 mm yang ditumpu oleh balok induk. Pelat perlu didesain dengan menggunakan tulangan baja untuk menahan momen yang terjadi. Dalam pelat dua arah beban yang diterima oleh pelat didistribusikan keempat sisinya. Desain pelat dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Pada bab ini diberikan penjelasan dan perhitungan pelat pada bangunan Gedung Youth Center. Berdasarkan SNI 2847:2019, ada 2 metode pendekatan dalam analisis dan desain pelat 2 arah yaitu:

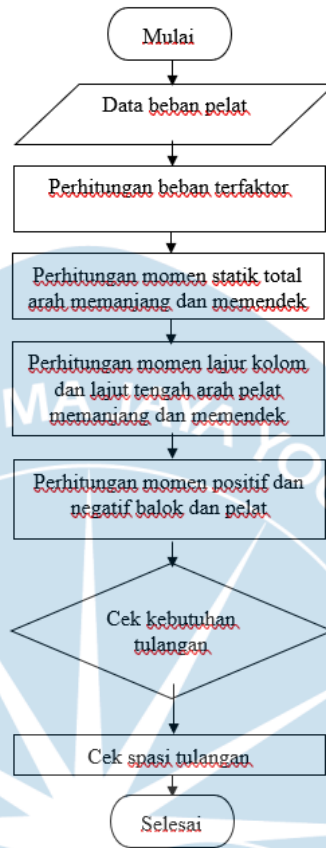
1. Metode desain langsung (DDM)

Dalam SNI 2847:2019 pasal 8.10, metode DDM dibatasi untuk pelat yang dibebani secara merata. Metode ini menggunakan sejumlah koefisien untuk menentukan besarnya momen rencana pada lokasi kritis.

2. Metode rangka ekuivalen (EFM)

Dalam SNI 2847:2019 pasal 8.11, struktur bangunan 3 dimensi dibagi kedalam beberapa rangka ekuivalen dua dimensi. Struktur tersebut dianalisis secara terpisah lantai per lantai dalam arah memanjang dan memendek. Pada analisis pelat 2 arah difokuskan menggunakan metode DDM.

Sebelum melakukan perhitungan tentunya diperlukan *flowchart* sebagai pedoman perancangan pelat. *Flowchart* perancangan pelat dapat dilihat pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25 *Flowchart* Perencanaan Pelat Lantai

Desain pelat:

Dimensi pelat	= 8 x 8 m
Ukuran balok	= 350 x 700 mm
Ukuran kolom	= 550 x 550 mm
Beban hidup merata	= 4,79 kN/m <sup>2</sup>
Fc'	= 25 Mpa
Fy	= 420 Mpa
Tebal pelat	= 130 mm
Beban pelat	= 3,12 kN/m <sup>2</sup>
MEP	= 0,19 kN/m <sup>2</sup>
Gypsum	= 0,0008 kN/m <sup>2</sup>
Finishing 2 cm	= 0,0042 kN/m <sup>2</sup>
Beban pasir	= 0,8 kN/m <sup>2</sup>

Beban keramik	= 0,24 kN/m <sup>2</sup>
Beban Sanitasi	= 0,17 kN/m <sup>2</sup>
DL	= 4,2763 kN/m <sup>2</sup>
SDL	= 1,1563 kN/m <sup>2</sup>
LL	= 2,4 kN/m <sup>2</sup>

Menghitung beban terfaktor:

$$qD = 4,2763 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 qU &= 1,2D + 1,6L \\
 &= 1,2(4,2763) + 1,6(2,4) \\
 &= 9,27 \text{ KN/m}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 8.10.3.2 jumlah momen terfaktor positif dan negatif ( $M_u$ ) tidak boleh kurang dari Momen statik terfaktor total ( $M_o$ ).

Berikut perhitungan momen statik total terfaktor dalam arah memanjang dan arah memendek:

Arah memanjang

$$\begin{aligned}
 M_o &= \frac{q_u l_2 l_{n1}^2}{8} \\
 &= \frac{9,27 \times 8 \times (8-0,35)^2}{8} \\
 &= 542,503575 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Arah memendek:

$$\begin{aligned}
 M_o &= \frac{q_u l_2 l_{n1}^2}{8} \\
 &= \frac{9,27 \times 8 \times (8-0,35)^2}{8} \\
 &= 542,503575 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

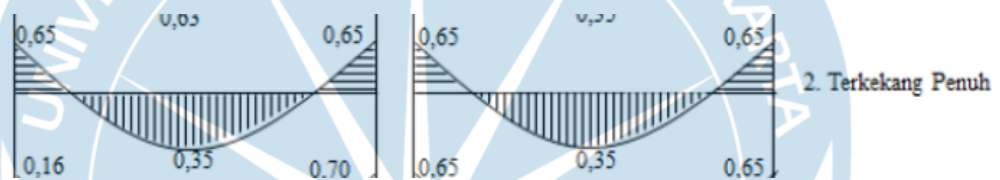
Arah panjang:

$$\begin{aligned}
 L_2/L_1 &= 8/8 \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 8.10.5.1 dan 8.10.5.5 karena nilai  $L_2/L_1$  adalah 1 maka, koefisien momen negatif interior dan momen positif interior lajur kolom ( $M_u$ ) menggunakan koefisien 0,75.

$$\begin{aligned} \text{Koefisien negatif} &= 0,75 \\ \text{Koefisien positif} &= 0,75 \\ \text{Koefisien sisa lajur kolom} &= 1 - 0,75 \\ &= 0,25 \\ \text{Koefisien distribusi balok} &= 0,85 \end{aligned}$$

Selain itu perlu dicari koefisien distribusi bentang ujung pada pelat. Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 8.10.4.2, karena tepi eksterior terkekang penuh maka koefisien negatif interior dan negatif eksterior digunakan koefisien 0,65 serta pada bentang positif menggunakan koefisien 0,35 seperti Gambar 2.26.



Gambar 2.26 Distribusi Momen Pada Kondisi Terkekang Penuh

Sumber: ocw.upj.ac.id

$$\begin{aligned} \text{Momen lajur tengah}^+ &= 0,35M_0(0,25) \\ &= 47,469 \text{ KNm} \\ \text{Momen lajur tengah}^- &= -0,65M_0(0,25) \\ &= 88,157 \text{ KNm} \\ \text{Momen lajur kolom}^+ &= 0,65M_0(0,75) \\ &= 142,407 \text{ KNm} \\ \text{Momen lajur kolom}^- &= -0,65M_0(0,75) \\ &= -264,4705 \text{ KNm} \\ \text{Momen balok}^+ &= 0,85 \text{ momen lajur kolom}^+ \\ &= 0,85 (142,407) \\ &= 121,046 \text{ KNm} \\ \text{Momen balok}^- &= 0,85 \text{ momen lajur kolom}^- \\ &= 0,85 (-264,4705) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -224,8 \text{ KNm} \\
 \text{Momen pelat}^+ &= \text{Momen lajur kolom}^+ - \text{Momen balok}^+ \\
 &= 142,407 - 121,046 \\
 &= 21,361 \text{ KNm} \\
 \text{Momen pelat}^- &= \text{Momen lajur kolom}^- - \text{Momen balok}^- \\
 &= (-264,4705) + (-224,8) \\
 &= 39,671 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan momen di atas didapatkan momen balok, momen pelat, dan momen balok dan pelat. Rekapitulasi momen arah memanjang dapat dilihat pada Tabel 2.31

Tabel 2.31 Momen Arah Panjang

	(-)	(+)
Momen balok	224,8	121,046
Momen Pelat	39,671	21,361
Momen Balok + Pelat	264,470	142,407
Momen Lajur Tengah	88,157	47,469

Arah pendek

$$\begin{aligned}
 L2/L1 &= 8/8 \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\text{Koefisien negatif} = 0,75$$

$$\text{Koefisien positif} = 0,75$$

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien sisa lajur kolom} &= 1 - 0,75 \\
 &= 0,25
 \end{aligned}$$

$$\text{Koefisien distribusi balok} = 0,85$$

Pada arah memendek dikarenakan pelat memiliki panjang bersih yang sama maka momen yang dihasilkan sama dengan momen arah panjang. Rekapitulasi momen dapat dilihat pada Tabel 2.32.

Tabel 2.32 Momen Arah Pendek

	(-)	(+)
Momen balok	224,8	121,046
Momen Pelat	39,671	21,361
Momen Balok + Pelat	264,470	142,407
Momen Lajur Tengah	88,157	47,469

Perhitungan tulangan pelat lantai:

Arah memanjang

Selimut bersih = 20 mm

Diameter tulangan = 10 mm

Diameter tulangan pelat = 10 mm

Lajur tengah negatif:

Lebar pelat = 8000 mm

Lebar efektif penampang pelat (ds) =  $130 - 20 - 10 - 10/2$   
= 95 mm

Mu = 88,157 kNm

$$\rho = \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right]$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 88,157 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 25 \times 8000 \times 95^2}} \right]$$

$$= 0,0033$$

Asperlu =  $\rho b ds$

$$= 0,0033 \cdot 8000 \cdot 95$$

$$= 2538,7462 \text{ mm}^2$$

Asmin = 0,002bh

$$= 0,002 \cdot 8000 \cdot 130$$

$$= 2080 \text{ mm}^2$$



$$\begin{aligned}
 \text{Spasi} &= \frac{0,25\pi d^2 b}{A_{\text{perlu}}} \\
 &= \frac{0,25\pi 10^2 8000}{2538,7462} \\
 &= 247,4916 \text{ mm} < 3h = 3(130) = 390 \text{ mm (AMAN)}
 \end{aligned}$$

Digunakan D10-200 mm

Maka pada lajur tengah negatif dengan tulangan berdiameter 10 mm dan spasi 200 mm mampu menahan momen ultimit.

Lajur tengah positif:

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar pelat} &= 8000 \text{ mm} \\
 \text{Lebar efektif penampang pelat (ds)} &= 130 - 20 - 10 - 10/2 \\
 &= 95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$M_u = 47,469 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right] \\
 &= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 47,469 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 25 \times 8000 \times 95^2}} \right] \\
 &= 0,0017703
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{perlu}} &= \rho b ds \\
 &= 0,0017703 \cdot 8000 \cdot 95 \\
 &= 1345,4277 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{min}} &= 0,002bh \\
 &= 0,002 \cdot 8000 \cdot 130 \\
 &= 2080 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena  $A_{\text{perlu}} < A_{\text{min}}$ , maka digunakan  $A_{\text{min}}$ .

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi} &= \frac{0,25\pi d^2 b}{A_{\text{perlu}}} \\
 &= \frac{0,25\pi 10^2 8000}{2080} \\
 &= 302,0762 \text{ mm} < 3h = 3(130) = 390 \text{ mm (AMAN)}
 \end{aligned}$$

Digunakan D10-300 mm

Maka pada lajur tengah positif dengan tulangan berdiameter 10 mm dan spasi 300 mm mampu menahan momen ultimit.

Lajur kolom negatif:

$$\text{Lebar pelat} = 8000 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar efektif penampang pelat (ds)} = 130 - 20 - 10 - 10/2 = 95 \text{ mm}$$

$$M_u = 39,671 \text{ KNm}$$

$$\rho = \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right]$$
$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 39,671 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 25 \times 8000 \times 95^2}} \right]$$
$$= 0,001475$$

$$\text{Asperlu} = \rho b ds$$
$$= 0,001475 \cdot 8000 \cdot 95$$
$$= 1121,06429 \text{ mm}^2$$

$$\text{Asmin} = 0,002bh$$
$$= 0,002 \cdot 8000 \cdot 130$$
$$= 2080 \text{ mm}^2$$

Karena  $\text{Asperlu} < \text{Asmin}$ , maka digunakan  $\text{As min}$ .

$$\text{Spasi} = \frac{0,25\pi d^2 b}{\text{Asperlu}}$$
$$= \frac{0,25\pi 10^2 8000}{2080}$$
$$= 302,0762 \text{ mm} < 3h = 3(130) = 390 \text{ mm (AMAN)}$$

Digunakan D10-300 mm

Maka pada lajur kolom negatif dengan tulangan berdiameter 10 mm dan spasi 300 mm mampu menahan momen ultimit.

Lajur kolom positif:

$$\text{Lebar pelat} = 8000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar efektif penampang pelat (ds)} &= 130 - 20 - 10 - 10/2 \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Mu} = 21,3611 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 21,3611 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 25 \times 8000 \times 95^2}} \right] \\ &= 0,000788 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Asperlu} &= \rho b ds \\ &= 0,000788 \cdot 8000 \cdot 95 \\ &= 599,5241 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Asmin} &= 0,002bh \\ &= 0,002 \cdot 8000 \cdot 130 \\ &= 2080 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena  $\text{Asperlu} < \text{Asmin}$ , maka digunakan  $\text{As min}$ .

$$\begin{aligned} \text{Spasi} &= \frac{0,25\pi d^2 b}{\text{Asperlu}} \\ &= \frac{0,25\pi 10^2 8000}{2080} \\ &= 302,0762 \text{ mm} < 3h = 3(130) = 390 \text{ mm (AMAN)} \end{aligned}$$

Digunakan D10-300 mm

Maka pada lajur kolom positif dengan tulangan berdiameter 10 mm dan spasi 300 mm mampu menahan momen ultimit.

Arah memendek:

$$\text{Selimut bersih} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan pelat} = 10 \text{ mm}$$

Lajur tengah negatif:

$$\text{Lebar pelat} = 8000 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar efektif penampang pelat (ds)} = 130 - 20 - 10 - 10/2$$

$$= 95 \text{ mm}$$

$$M_u = 88,157 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 88,157 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 25 \times 8000 \times 95^2}} \right] \\ &= 0,0033 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= \rho b d s \\ &= 0,0033 \cdot 8000 \cdot 95 \\ &= 2538,7462 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smin} &= 0,002bh \\ &= 0,002 \cdot 8000 \cdot 130 \\ &= 2080 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi} &= \frac{0,25\pi d^2 b}{A_{sperlu}} \\ &= \frac{0,25\pi 10^2 8000}{2538,7462} \\ &= 247,4916 \text{ mm} < 3h = 3(130) = 390 \text{ mm (AMAN)} \end{aligned}$$

Digunakan D10-200 mm

Maka pada lajur tengah negatif dengan tulangan berdiameter 10 mm dan spasi 200 mm mampu menahan momen ultimit.

Lajur tengah positif:

$$\text{Lebar pelat} = 8000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar efektif penampang pelat (ds)} &= 130 - 20 - 10 - 10/2 \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_u = 47,469 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 47,469 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 25 \times 8000 \times 95^2}} \right] \\ &= 0,0017703 \end{aligned}$$

$$A_{sperlu} = \rho b d s$$

$$= 0,0017703 \cdot 8000 \cdot 95$$

$$= 1345,4277 \text{ mm}^2$$

$$\text{Asmin} = 0,002bh$$

$$= 0,002 \cdot 8000 \cdot 130$$

$$= 2080 \text{ mm}^2$$

Karena  $\text{Asperlu} < \text{Asmin}$  , maka digunakan  $\text{As min}$ .

$$\text{Spasi} = \frac{0,25\pi d^2 b}{\text{Asperlu}}$$

$$= \frac{0,25\pi 10^2 8000}{2080}$$

$$= 302,0762 \text{ mm} < 3h = 3(130) = 390 \text{ mm (AMAN)}$$

Digunakan D10-300 mm

Maka pada lajur tengah positif dengan tulangan berdiameter 10 mm dan spasi 300 mm mampu menahan momen ultimit.

Lajur kolom negatif:

$$\text{Lebar pelat} = 8000 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar efektif penampang pelat (ds)} = 130 - 20 - 10 - 10/2$$

$$= 95 \text{ mm}$$

$$\text{Mu} = 39,671 \text{ KNm}$$

$$\rho = \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right]$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 39,671 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 25 \times 8000 \times 95^2}} \right]$$

$$= 0,001475$$

$$\text{Asperlu} = \rho b ds$$

$$= 0,001475 \cdot 8000 \cdot 95$$

$$= 1121,06429 \text{ mm}^2$$

$$\text{Asmin} = 0,002bh$$

$$= 0,002 \cdot 8000 \cdot 130$$

$$= 2080 \text{ mm}^2$$

Karena  $\text{Asperlu} < \text{Asmin}$  , maka digunakan  $\text{As min}$ .

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi} &= \frac{0,25\pi d^2 b}{A_{\text{perlu}}} \\
 &= \frac{0,25\pi 10^2 8000}{2080} \\
 &= 302,0762 \text{ mm} < 3h = 3(130) = 390 \text{ mm (AMAN)}
 \end{aligned}$$

Digunakan D10-300 mm

Maka pada lajur kolom negatif dengan tulangan berdiameter 10 mm dan spasi 300 mm mampu menahan momen ultimit.

Lajur kolom positif:

$$\text{Lebar pelat} = 8000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar efektif penampang pelat (ds)} &= 130 - 20 - 10 - 10/2 \\
 &= 95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mu} = 21,3611 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right] \\
 &= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 21,3611 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 25 \times 8000 \times 95^2}} \right] \\
 &= 0,000788
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{perlu}} &= \rho b ds \\
 &= 0,000788 \cdot 8000 \cdot 95 \\
 &= 599,5241 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{min}} &= 0,002bh \\
 &= 0,002 \cdot 8000 \cdot 130 \\
 &= 2080 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena  $A_{\text{perlu}} < A_{\text{min}}$ , maka digunakan  $A_{\text{min}}$ .

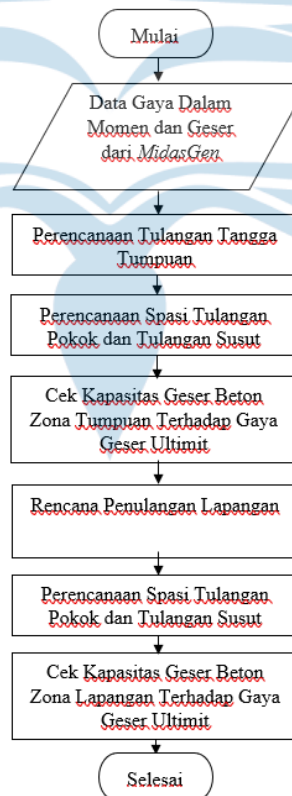
$$\begin{aligned}
 \text{Spasi} &= \frac{0,25\pi d^2 b}{A_{\text{perlu}}} \\
 &= \frac{0,25\pi 10^2 8000}{2080} \\
 &= 302,0762 \text{ mm} < 3h = 3(130) = 390 \text{ mm (AMAN)}
 \end{aligned}$$

Digunakan D10-300 mm

Maka pada lajur kolom positif dengan tulangan berdiameter 10 mm dan spasi 300 mm mampu menahan momen ultimit.

## 2.11 Perancangan Tangga

Tangga merupakan salah satu struktur bangunan yang penting karena tangga dirancang untuk akses pengunjung bangunan dalam menjangkau berbagai area di bangunan tersebut. Tangga pada bangunan Youth Center memiliki 2 tipe yaitu tipe L dan tipe U. Pada tangga terdapat bordes yang digunakan sebagai ruang transisi saat pengunjung naik dan turun tangga. Dalam perancangan tangga diperlukan *flowchart* sebagai pedoman atau acuan perancangan. Dalam perancangan tangga terdapat berbagai macam variabel yang perlu diperhatikan yaitu variabel beban, variabel material dan variabel mutu. Tangga harus memenuhi standar kapasitas agar tangga aman menahan beban yang terjadi. *Flowchart* perancangan tangga dapat dilihat pada Gambar 2.27.



Gambar 2.27 *Flowchart* perancangan tangga

Dimensi tangga L:

$$\text{Tinggi antar lantai (Het)} = 1120 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar lantai (L1)} = 2000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi anak tangga oprade (O)} = 160 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah anak tangga (ntg)} &= \frac{Het}{o} \\ &= \frac{1120}{160} \end{aligned}$$

$$\text{ntg} = 7$$

$$\text{Lebar anak tangga antrade (A)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat tangga (tt)} = 130 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat bordes (tb)} = 130 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t' &= \frac{(0,5 \cdot O \cdot A)}{\sqrt{O^2 + A^2}} \\ &= \frac{(0,5 \cdot 160 \cdot 300)}{\sqrt{160^2 + 300^2}} \\ &= 70,589 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= tb + t' \\ &= (130 + 70,589)/1000 \\ &= 0,2006 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h' &= \frac{tb}{\cos \alpha} + \frac{O}{2} \\ &= \frac{130}{\cos(28,0725)} + \frac{160}{2} \\ &= 0,2273 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Berat volume beton} = 24 \text{ KN/m}^3$$

$$\text{Berat volume ubin} = 21 \text{ KN/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang tangga (Ltg)} &= \left( \frac{1}{2} \times \frac{Het}{O} - 1 \right) A \\ &= \left( \frac{1}{2} \times \frac{1120}{160} - 1 \right) \cdot 300 \\ &= 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sudut tangga } (\alpha) &= \text{arc tan} \left( \frac{O}{A} \right) \\ &= \text{arc tan} \left( \frac{160}{300} \right) \\ &= 28,0725^\circ \end{aligned}$$



Beban qtg:

Berat anak tangga =  $h' \times \text{berat volume beton}$   
=  $0,2273 \times 24$   
=  $5,456 \text{ KN/m}^2$

Berat ubin tebal 2 cm =  $0,02 \times 21$   
=  $0,42 \text{ KN/m}^2$

Berat spesi tebal 2 cm =  $0,02 \times 24$   
=  $0,48 \text{ KN/m}^2$

Berat railing =  $1,2 \text{ KN/m}^2$

Beban qtg =  $7,556 \text{ KN/m}^2$

Beban qbd:

Berat sendiri bordes =  $tb \times \text{berat volume beton}$   
=  $0,13 \times 24$   
=  $3,12 \text{ KN/m}^2$

Berat ubin tebal 2 cm =  $0,02 \times 21$   
=  $0,42 \text{ KN/m}^2$

Berat spesi tebal 2 cm =  $0,02 \times 24$   
=  $0,48 \text{ KN/m}^2$

Berat railing =  $1,2 \text{ KN/m}^2$

Beban qbd =  $5,22 \text{ KN/m}^2$

Beban hidup =  $4,79 \text{ KN/m}^2$

Pembebanan:

Momen akibat DL (MDL) =  $29 \text{ KNm (MidasGen)}$

Geser akibat DL (VDL) =  $24,8 \text{ KN (MidasGen)}$

Momen akibat LL (MLL) =  $27,9 \text{ KNm (MidasGen)}$

Geser akibat LL (VLL) =  $24,3 \text{ KN (MidasGen)}$

Kombinasi :

Mu 1 =  $1,4 \text{ MDL}$  =  $40,6 \text{ KNm}$

Mu 2 =  $1,2 \text{ MDL} + 1,6 \text{ MLL}$  =  $79,44 \text{ KNm}$

$$\begin{aligned} V_{u1} &= 1,4 \text{ VDL} &= 34,72 \text{ KN} \\ V_{u2} &= 1,2 \text{ VDL} + 1,6 \text{ VLL} &= 68,64 \text{ KN} \\ \text{Mu digunakan} &&= 79,44 \text{ KNm} \\ V_u \text{ digunakan} &&= 68,64 \text{ KN} \end{aligned}$$

Rencana Penulangan Tangga Tumpuan:

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 0,5(79,44) \\ &= 39,72 \text{ KNm} \\ \text{Tulangan pokok} &= 13 \text{ mm} \\ A_s &= 132,732 \text{ mm}^2 \\ \text{Tulangan susut} &= 8 \text{ mm} \\ A_s &= 50,2655 \text{ mm}^2 \\ F_y \text{ tulangan pokok} &= 420 \text{ MPa} \\ F_y \text{ tulangan susut} &= 280 \text{ MPa} \\ \text{Selimut beton (cc)} &= 20 \text{ mm} \\ \text{Lebar pelat (B)} &= 2000 \text{ mm} \\ \text{Tebal pelat tangga (tt)} &= 130 \text{ mm} \\ \beta_1 &= 0,85 \\ ds &= tt - cc - d/2 \\ &= 130 - 20 - (13/2) \\ &= 103,5 \text{ mm} \\ \rho &= \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7 \phi f'_c b d^2}} \right] \\ &= \frac{0,85 \cdot 35}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 39,72}{1,7 \cdot 0,9 \cdot 35 \cdot 2000 \cdot 103,5^2}} \right] \\ &= 0,00509 \\ A_s \text{ min} &= 0,002bh \\ &= 0,002 \cdot 2000 \cdot 130 \\ &= 520 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ perlu} &= \rho b d \\ &= 0,00509 \times 2000 \times 103,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 1053,0761 \text{ mm}^2 \\ \text{Jarak tulangan} &= \frac{0,25\pi d^2 b}{A_s} \end{aligned}$$

$$= \frac{0,25\pi 13^2 2000}{1053,0761}$$

$$= 252,1 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi digunakan} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{As pakai} = \frac{0,25\pi 13^2 2000}{150}$$

$$= 1769,764 \text{ mm}^2$$

As pakai > As perlu (AMAN)

Digunakan D13-150

Maka dapat disimpulkan dengan tulangan diameter 13 mm dan spasi tulangan 150 mm mampu menahan momen ultimit yang terjadi.

Tulangan susut :

$$\text{As min} = 0,002bh$$

$$= 0,002 \cdot 2000 \cdot 130$$

$$= 520 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter Tulangan} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi tulangan perlu} = 193,329 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi tulangan digunakan} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{As pakai} = \frac{0,25\pi 8^2 2000}{150}$$

$$= 670,2064 \text{ mm}^2$$

As pakai > As min (AMAN)

Digunakan D8-150

Cek gaya geser :

$$V_c = 0,17\sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$= 0,17\sqrt{35} \times 2000 \times 103,5$$

$$= 208,18685 \text{ KN}$$

$$\Phi V_c = 0,75 \cdot 208,18685$$

$$= 156,1401 \text{ KN}$$

Syarat :  $\Phi V_c > V_u$

156,1401 KN > 68,64 KN (AMAN)

Berdasarkan perhitungan gaya geser didapatkan hasil bahwa kapasitas geser beton memiliki nilai lebih besar dari gaya geser yang terjadi sehingga beton aman.

Rencana Penulangan Lapangan:

Mux	= 0,8(79,44)
	= 63,552 KNm
Tulangan pokok	= 13 mm
As	= 132,732 mm <sup>2</sup>
Tulangan susut	= 8 mm
As	= 50,2655 mm <sup>2</sup>
Fy tulangan pokok	= 420 MPa
Fy tulangan susut	= 280 MPa
Selimit beton (cc)	= 20 mm
Lebar pelat (B)	= 2000 mm
Tebal pelat tangga (tt)	= 130 mm
$\beta_1$	= 0,85
ds	= tt - cc - d/2
	= 130 - 20 - (13/2)
	= 103,5 mm
$\rho$	= $\frac{0,85f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right]$
	= $\frac{0,85 \cdot 35}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 63,552}{1,7 \cdot 0,9 \cdot 35 \cdot 2000 \cdot 103,5^2}} \right]$
	= 0,00834
As min	= 0,002bh
	= 0,002 \cdot 2000 \cdot 130
	= 520 mm <sup>2</sup>
As perlu	= $\rho b d$

$$= 0,00834 \times 2000 \times 103,5$$

$$= 1726 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan

$$= \frac{0,25\pi d^2 b}{A_s}$$

$$= \frac{0,25\pi 13^2 2000}{1726}$$

$$= 153,8 \text{ mm}$$

Spasi digunakan

$$= 150 \text{ mm}$$

As pakai

$$= \frac{0,25\pi 13^2 2000}{150}$$

$$= 1769,764 \text{ mm}^2$$

As pakai > As perlu (AMAN)

Digunakan D13-150

Maka dapat disimpulkan dengan tulangan diameter 13 mm dan spasi tulangan 150 mm mampu menahan momen ultimit yang terjadi.

Tulangan susut :

$$A_s \text{ min} = 0,002bh$$

$$= 0,002 \cdot 2000 \cdot 130$$

$$= 520 \text{ mm}^2$$

Diamter Tulangan

$$= 8 \text{ mm}$$

Spasi tulangan perlu

$$= 193,329 \text{ mm}$$

Spasi tulangan digunakan

$$= 150 \text{ mm}$$

As pakai

$$= \frac{0,25\pi 8^2 2000}{150}$$

$$= 670,2064 \text{ mm}^2$$

As pakai > As min (AMAN)

Digunakan D8-150

Cek gaya geser :

$$V_c = 0,17\sqrt{f'c} \times b \times d$$

$$= 0,17\sqrt{35} \times 2000 \times 103,5$$

$$= 208,18685 \text{ KN}$$

$\Phi V_c$

$$= 0,75 \cdot 208,18685$$

$$= 156,1401 \text{ KN}$$

Syarat :  $\Phi V_c > V_u$

$$156,1401 \text{ KN} > 68,64 \text{ KN (AMAN)}$$

Berdasarkan perhitungan gaya geser didapatkan hasil bahwa kapasitas geser beton memiliki nilai lebih besar dari gaya geser yang terjadi sehingga beton aman.

Perhitungan tangga L bagian 2:

$$\text{Tinggi antar lantai (Het)} = 2880 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar lantai (L1)} = 2000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi anak tangga oprade (O)} = 160 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah anak tangga (ntg)} &= \frac{Het}{o} \\ &= \frac{2880}{160} \end{aligned}$$

$$\text{ntg} = 18$$

$$\text{Lebar anak tangga antrade (A)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat tangga (tt)} = 130 \text{ mm}$$

$$t' = 70,589 \text{ mm}$$

$$h = 0,2006 \text{ m}$$

$$h' = 0,2273 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume beton} = 24 \text{ KN/m}^3$$

$$\text{Berat volume ubin} = 21 \text{ KN/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang tangga (Ltg)} &= \left( \frac{1}{2} \times \frac{Het}{O} - 1 \right) A \\ &= \left( \frac{1}{2} \times \frac{2880}{160} - 1 \right) \cdot 300 \\ &= 2400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Sudut tangga } (\alpha) = \text{arc tan} \left( \frac{O}{A} \right)$$

$$= \text{arc tan} \left( \frac{160}{300} \right)$$

$$= 28,0725^\circ$$

Beban qtg:

$$\begin{aligned} \text{Berat anak tangga} &= h'x \text{ berat volume beton} \\ &= 0,2273 \times 24 \\ &= 5,456 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ubin tebal 2 cm} &= 0,02 \times 21 \\ &= 0,42 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat spesi tebal 2 cm} &= 0,02 \times 24 \\ &= 0,48 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Berat railing} = 1,2 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Beban qtg} = 7,556 \text{ KN/m}^2$$

Beban qbd:

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri bordes} &= tb \times \text{berat volume beton} \\ &= 0,13 \times 24 \\ &= 3,12 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ubin tebal 2 cm} &= 0,02 \times 21 \\ &= 0,42 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat spesi tebal 2 cm} &= 0,02 \times 24 \\ &= 0,48 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Berat railing} = 1,2 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Beban qbd} = 5,22 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Beban hidup} = 4,79 \text{ KN/m}^2$$

Pembebanan:

$$\text{Momen akibat DL (MDL)} = 53,4 \text{ KNm (MidasGen)}$$

$$\text{Geser akibat DL (VDL)} = 52,8 \text{ KN (MidasGen)}$$

$$\text{Momen akibat LL (MLL)} = 51,1 \text{ KNm (MidasGen)}$$

$$\text{Geser akibat LL (VLL)} = 50,5 \text{ KN (MidasGen)}$$

Kombinasi :

$$\text{Mu 1} = 1,4 \text{ MDL} = 74,76 \text{ KNm}$$

$$\text{Mu 2} = 1,2 \text{ MDL} + 1,6 \text{ MLL} = 145,84 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned}
 V_{u1} &= 1,4 \text{ VDL} &= 73,92 \text{ KN} \\
 V_{u2} &= 1,2 \text{ VDL} + 1,6 \text{ VLL} &= 144,16 \text{ KN} \\
 \text{Mu digunakan} &&= 145,84 \text{ KNm} \\
 \text{Vu digunakan} &&= 144,16 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Rencana Penulangan Tangga Tumpuan:

$$\begin{aligned}
 \text{Mux} &= 0,5(145,84) \\
 &= 72,92 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan pokok} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{As} = 201,062 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan susut} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{As} = 50,2655 \text{ mm}^2$$

$$\text{Fy tulangan pokok} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Fy tulangan susut} = 280 \text{ MPa}$$

$$\text{Selimut beton (cc)} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar pelat (B)} = 2000 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat tangga (tt)} = 130 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$ds = tt - cc - d/2$$

$$= 130 - 20 - (16/2)$$

$$= 102 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7 \phi f'_c b d^2}} \right]$$

$$= \frac{0,85 \cdot 35}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 72,92}{1,7 \cdot 0,9 \cdot 35 \cdot 2000 \cdot 102^2}} \right]$$

$$= 0,00997$$

$$\text{As min} = 0,002bh$$

$$= 0,002 \cdot 2000 \cdot 130$$

$$= 520 \text{ mm}^2$$

$$\text{As perlu} = \rho b d$$

$$= 0,00997 \times 2000 \times 100,5$$



$$= 2034,49954 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{0,25\pi d^2 b}{A_s}$$

$$= \frac{0,25\pi 16^2 2000}{2034,49954}$$

$$= 197,65247 \text{ mm}$$

Spasi digunakan = 150 mm

As pakai =  $\frac{0,25\pi 16^2 2000}{150}$

$$= 2680,825731 \text{ mm}^2$$

As pakai > As perlu (AMAN)

Digunakan D16-150

Tulangan susut :

As min = 0,002bh

$$= 0,002 \cdot 2000 \cdot 130$$

$$= 520 \text{ mm}^2$$

Tulangan = 8 mm

Spasi tulangan perlu = 193,329 mm

Spasi tulangan digunakan = 150 mm

As pakai =  $\frac{0,25\pi 8^2 2000}{150}$

$$= 670,2064 \text{ mm}^2$$

As pakai > As min (AMAN)

Digunakan D8-150

Cek gaya geser :

$V_c = 0,17\sqrt{f'c} \times b \times d$

$$= 0,17\sqrt{35} \times 2000 \times 102$$

$$= 205,1696 \text{ KN}$$

$\Phi V_c = 0,75 \cdot 205,1696$

$$= 153,8772 \text{ KN}$$

Syarat :  $\Phi V_c > V_u$

$$153,8772 \text{ KN} > 144,14 \text{ KN (AMAN)}$$

Berdasarkan perhitungan gaya geser didapatkan hasil bahwa kapasitas geser beton memiliki nilai lebih besar dari gaya geser yang terjadi sehingga beton aman.

Rencana Penulangan Tangga Lapangan:

$$\begin{aligned}
 \text{Mux} &= 0,8(145,84) \\
 &= 116,672 \text{ KNm} \\
 \text{Tulangan pokok} &= 16 \text{ mm} \\
 \text{As} &= 201,062 \text{ mm}^2 \\
 \text{Tulangan susut} &= 8 \text{ mm} \\
 \text{As} &= 50,2655 \text{ mm}^2 \\
 \text{Fy tulangan pokok} &= 420 \text{ MPa} \\
 \text{Fy tulangan susut} &= 280 \text{ MPa} \\
 \text{Selimut beton (cc)} &= 20 \text{ mm} \\
 \text{Lebar pelat (B)} &= 2000 \text{ mm} \\
 \text{Tebal pelat tangga (tt)} &= 130 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,85 \\
 ds &= tt - cc - d/2 \\
 &= 130 - 20 - (16/2) \\
 &= 102 \text{ mm} \\
 \rho &= \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right] \\
 &= \frac{0,85 \cdot 35}{420} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 116,672}{1,7 \cdot 0,9 \cdot 35 \cdot 2000 \cdot 102^2}} \right] \\
 &= 0,01683 \\
 \text{As min} &= 0,002bh \\
 &= 0,002 \cdot 2000 \cdot 130 \\
 &= 520 \text{ mm}^2 \\
 \text{As perlu} &= \rho b d \\
 &= 0,01683 \times 2000 \times 100,5 \\
 &= 3434,105 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan} &= \frac{0,25\pi d^2 b}{A_s} \\ &= \frac{0,25\pi 16^2 2000}{3434,105} \\ &= 117,0971 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi digunakan} = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{0,25\pi 16^2 2000}{100} \\ &= 4021,2386 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As pakai > As perlu (AMAN)

Digunakan D16-100

Tulangan susut :

$$\begin{aligned} \text{As min} &= 0,002bh \\ &= 0,002 \cdot 2000 \cdot 130 \\ &= 520 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi tulangan perlu} = 193,329 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi tulangan digunakan} = 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{0,25\pi 8^2 2000}{150} \\ &= 670,2064 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As pakai > As min (AMAN)

Digunakan D8-150

Cek gaya geser :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17\sqrt{35} \times 2000 \times 102 \\ &= 205,1696 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi V_c &= 0,75 \cdot 205,1696 \\ &= 153,8772 \text{ KN} \end{aligned}$$

Syarat :  $\Phi V_c > V_u$

$$153,8772 \text{ KN} > 144,14 \text{ KN (AMAN)}$$

Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa tulangan tangga arah memanjang dan memendek mampu menahan momen dan beban geser yang terjadi sehingga desain dapat dikatakan aman. Rekap perhitungan tangga dapat dilihat pada Tabel 2.33 sampai Tabel 2.35.

Tabel 2.33 Rekap Tangga

	<b>Tangga U bagian 1</b>	<b>Tangga U bagian 2</b>	<b>Tangga U bagian 3</b>
Tinggi antar lantai (mm)	1120	1120	1120
Lebar lantai	1500	1500	1500
Optrade	160	160	160
Antrade	300	300	300
Sudut kemiringan	28,0725°	28,0725°	28,0725°
Tebal tangga	130	130	130
Beban qtg (KN/m <sup>2</sup> )	7,556	7,556	7,556
Beban qbd (KN/m <sup>2</sup> )	5,02	5,02	5,02
M 1,4DL	10	10,3	16,5
V 1,4DL	13,9	19,3	23,5
M 1,2DL+1,6 LL	15,9	16,3	23,7
V 1,2DL+1,6 LL	22,1	30,6	37,1

Tabel 2.34 Penulangan Tangga Tumpuan

<b>Tumpuan</b>			
Diameter Tulangan pokok	13	13	13
Diameter tulangan susut	8	8	8
Selimit beton	20	20	20
$f_c'$	35	35	35
$\beta_1$	0,85	0,85	0,85
$d_s$	103,5	103,5	103,5
$\rho$	0,00267	0,002736	0,004016
As min	390	390	390
As perlu	414,2114	424,8411	623,45477
Spasi perlu	480,6685	468,6421	319,347
Spasi digunakan	150	150	150
	D13-150	D13-150	D13-150
<b>Tulangan susut</b>			
As min	390	390	390
Diameter tulangan	8	8	8
Spasi perlu	193,329	193,329	193,329
Spasi digunakan	150	150	150
	D8-150	D8-150	D8-150
<b>Cek Geser</b>			
$V_c$	156,14	156,14	156,14
$\Phi V_c$	117,105	117,105	117,105
$V_u$	22,1	30,6	37,1
$V_c > \Phi V_c$	AMAN	AMAN	AMAN

Tabel 2.35 Penulangan Tangga Lapangan

<b>Lapangan</b>			
Diameter Tulangan pokok	13	13	13
Diameter tulangan susut	8	8	8
Selimut beton	20	20	20
$f_c'$	35	35	35
$\beta_1$	0,85	0,85	0,85
$d_s$	103,5	103,5	103,5
$\rho$	0,00267	0,002736	0,004016
As min	390	390	390
As perlu	414,2114	424,8411	623,45477
Spasi perlu	480,6685	468,6421	319,347
Spasi digunakan	150	150	150
	D13-150	D13-150	D13-150
<b>Tulangan susut</b>			
As min	390	390	390
Diameter tulangan	8	8	8
Spasi perlu	193,329	193,329	193,329
Spasi digunakan	150	150	150
	D8-150	D8-150	D8-150
<b>Cek Geser</b>			
$V_c$	156,14	156,14	156,14
$\Phi V_c$	117,105	117,105	117,105
$V_u$	22,1	30,6	37,1
$V_c > \Phi V_c$	AMAN	AMAN	AMAN