

## BAB II

### PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

#### 2.1 Deskripsi Umum Struktur

Bangunan *Training Center* UIN Jambi merupakan salah satu dari 5 bangunan yang dibangun bersamaan dalam proyek pembangunan UIN Jambi. Bangunan ini memiliki 4 lantai dengan luas bangunan  $4194 \text{ m}^2$  dan luas tanah  $5660 \text{ m}^2$ . Bangunan ini difungsikan sebagai ruang publik dan beberapa ruang pertemuan (lantai 1 dan 2) dan asrama mahasiswa (lantai 3 dan 4).

Pada BAB ini disajikan secara lengkap proses perhitungan desain struktur Gedung *Training Center* UIN Jambi. Struktur ini di desain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Elemen struktur berupa balok, kolom, pelat lantai, pada struktur yang di desain menggunakan material beton sedangkan atap menggunakan material baja WF.

#### 2.2 Spesifikasi Material Struktur

Spesifikasi material yang digunakan dalam desain struktur Gedung *Training Center* adalah sebagai berikut.

1. Beton
  - a. Kuat tekan beton umur 28 hari,  $F_c' = 30 \text{ MPa}$  (struktur atas dan struktur bawah)
  - b. Modulus elastisitas beton,  $E_c = 4700\sqrt{F_c'} = 4700 \sqrt{30} = 25,743 \text{ MPa}$
  - c. Kuat tekan beton umur 28 hari,  $F_c' = 60 \text{ MPa}$  (tiang pancang)
  - d. Modulus elastisitas beton,  $E_c = 4700\sqrt{F_c'} = 4700 \sqrt{60} = 36,406 \text{ MPa}$
2. Baja Tulangan
  - a. Baja tulangan dengan  $D > 12 \text{ mm}$ , digunakan baja tulangan ulir (*deform*) dengan tegangan leleh,  $f_y = 420 \text{ MPa}$

- b. Baja tulangan dengan  $D < 12$  mm, digunakan baja tulangan ulir (*deform*) dengan tegangan leleh,  $f_y = 280$  Mpa
3. Baja Profil WF
- a. Baja profil yang digunakan adalah BJ 37 dengan tegangan leleh,  $f_y = 240$  MPa dan tegangan ultimit,  $f_u = 420$  MPa
  - b. Modulus elastisitas baja,  $E_s = 200.000$  MPa

### 2.3 Preliminary Design

*Preliminary design* balok dan kolom bangunan merupakan tahap awal dalam merancang struktur bangunan, di mana ukuran dan dimensi balok dan kolom ditentukan berdasarkan beban yang akan ditopang. Dalam tahap ini, dimensi balok dan kolom masih merupakan perkiraan awal dan akan disempurnakan melalui analisis lebih lanjut.

Pada tahap *preliminary design*, perhitungan dilakukan untuk menentukan dimensi balok dan kolom yang memadai untuk menahan beban yang diberikan. Beban ini dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk beban mati seperti bobot struktur sendiri, dan beban hidup seperti beban manusia dan barang-barang yang ditempatkan di atas bangunan.

Dalam *preliminary design* balok dan kolom bangunan, beberapa faktor yang harus dipertimbangkan antara lain kuat tarik dan tekan bahan yang digunakan, ketahanan terhadap gaya geser, serta hubungan antara balok dan kolom di bangunan. Setelah dimensi awal ditentukan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis dan perhitungan yang lebih mendetail untuk memastikan bahwa struktur yang direncanakan cukup kuat dan aman.

Penentuan perkiraan dimensi awal balok dan kolom menggunakan rumus dan hasil sebagai berikut:

a) Balok Induk :

- Tinggi balok  $= \frac{1}{15} \times$  bentang balok

- Lebar balok  $= \frac{2}{3} \times$  tinggi balok

b) Balok Anak

- Tinggi balok  $= \frac{1}{16} \times$  bentang balok

- Lebar balok  $= \frac{1}{2} \times$  tinggi balok

c) Kolom

1) Dimensi kolom  $=$  lebar balok induk  $+ 2 \times 5$

Contoh dan hasil perhitungan

a) Balok Induk dengan bentang 6000 mm

2) Tinggi balok  $= \frac{1}{15} \times$  bentang balok

$$= \frac{1}{15} \times 6000 \text{ mm}$$

$$= 400 \text{ mm}$$

3) Lebar balok  $= \frac{2}{3} \times$  tinggi balok

$$= \frac{2}{3} \times 400 \text{ mm}$$

$$= 266,7 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

b) Balok Anak dengan bentang 4000 mm

4) Tinggi balok  $= \frac{1}{16} \times$  bentang balok

$$= \frac{1}{16} \times 4000 \text{ mm}$$

$$= 250 \text{ mm}$$

5) Lebar balok  $= \frac{1}{2} \times$  tinggi balok

$$= \frac{1}{2} \times 250 \text{ mm}$$

$$= 125 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

c) Kolom dengan ukuran balok 300 mm  $\times$  400 mm

6) Dimensi kolom  $=$  lebar balok induk  $+ 2 \times 5$

$$= 30 + 2 \times 5 = 400 \text{ mm}$$

Tabel 2. 1 Dimensi Balok Induk

No.	Kode	Dimensi
1	B1	300 x 400
2	B2	400 x 600

Tabel 2. 2 Dimensi Balok Anak

No.	Kode	Dimensi
1	BA1	250 x 500
2	BA2	200 x 300
3	BA3	200 x 400

Tabel 2. 3 Dimensi Kolom

No.	Kode	Dimensi
1	C1	600 x 600
2	C2	300 x 400
3	C3	250 x 500

## 2.4 Beban Rencana

### 2.4.1 Beban Gravitasi

Beban gravitasi ditetapkan berdasarkan SNI 8900:2020 Masa jenis minimum material y untuk evaluasi beban mati dan beban hidup. Beban gravitasi dalam desain struktur fasilitas pendidikan meliputi berat sendiri struktur/*dead load* (DL), beban mati tambahan/*additional dead load* (ADL), dan beban hidup/*live load* (LL). Beban-beban tersebut dijelaskan sebagai berikut:

**a. Beban Mati Sendiri (DL)**

Beban mati terdiri dari bahan konstruksi pada gedung yang dalam pemeliharaannya tetap. Pada penentuan beban mati untuk perancangan, berat material dan konstruksi aktual harus digunakan. Beban mati sendiri terdiri dari balok, kolom, pelat lantai, dll yang merupakan bagian dari struktur utama.

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

Beban mati tambahan/*additional dead load* merupakan beban tambahan akibat komponen non-struktural (arsitekural dan MEP) yang melekat pada struktur bangunan utama. Perhitungan beban mati sebagai berikut:

Beban pelat sendiri	= 0,13 x 24	= 3,12 kN/m <sup>2</sup>	
Beban pasir (tebal 5 cm)	= 0,05 x 18	= 0,9 kN/m <sup>2</sup>	
Beban spesi (tebal 3 cm)	= 0,03 x 21	= 0,63 kN/m <sup>2</sup>	
Beban keramik (tebal 2 cm)	= 0,02 x 21	= 0,42 kN/m <sup>2</sup>	
Beban Plafond		= 0,2 kN/m <sup>2</sup>	
Beban MEP		= 0,25 kN/m <sup>2</sup>	+
Total Beban Mati (DL)		= 5,52 kN/m <sup>2</sup>	

**c. Beban Hidup (LL)**

Beban hidup / *live load* merupakan beban yang timbul akibat aktivitas didalam bangunan. Beban tersebut dapat berupa benda-benda yang dapat dipindahkan atau orang yang dapat berpindah tempat. *Training center* termasuk dalam kategori fasilitas pendidikan menurut SNI 1727:2020 Tabel C4.3-1 beban hidup minimum terdistribusi merata sehingga beban hidup ditetapkan sebagai berikut:

Beban hidup = 4,79 kN/m<sup>2</sup> (fasilitas pendidikan)

## 2.4.2 Beban Gempa

Beban gempa ditetapkan berdasarkan SNI 1726:2019 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung. Langkah-langkah perhitungan beban gempa rencana disajikan sebagai berikut:

### a. Menentukan Kategori Risiko Bangunan (I-IV)

Kategori risiko bangunan ditentukan berdasarkan fungsi operasional/jenis pemanfaatan dari suatu bangunan. Dalam SNI 1726:2019, kategori risiko bangunan dibedakan menjadi 4 jenis yaitu kategori risiko I, II, III, dan IV (lihat Tabel3). Dalam pekerjaan ini, struktur *training center* termasuk dalam kategori bangunan umum sehingga ditetapkan sebagai kategori risiko bangunan IV.

Tabel 2. 4 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul>	III
<p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	IV

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- <b>Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</b></li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	<div style="border: 1px solid red; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: auto;">IV</div>

Sumber: SNI 1726:2019

**b. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )**

Faktor keutamaan gempa ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan. Dalam Tabel 2.5 disajikan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) sesuai dengan SNI 1726:2019. Dalam pekerjaan ini, struktur *training center* termasuk dalam kategori risiko bangunan IV sehingga faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) ditetapkan sebesar 1,50.

Tabel 2. 5 Faktor keutamaan gempa ( $I_e$ )

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

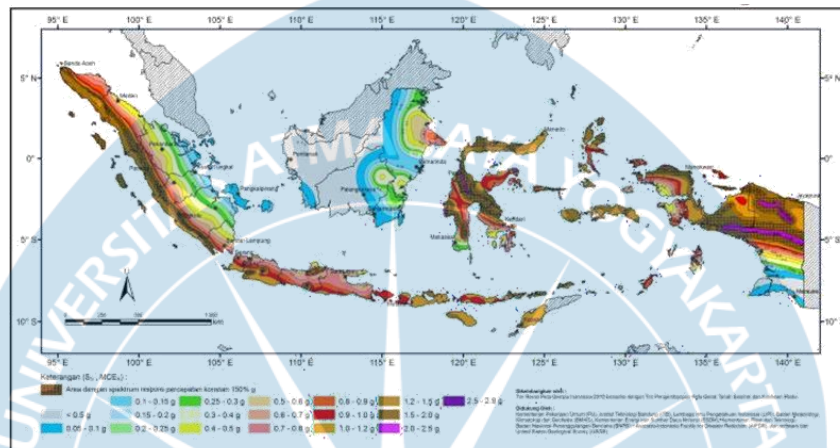
Sumber: SNI 1726:2019

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

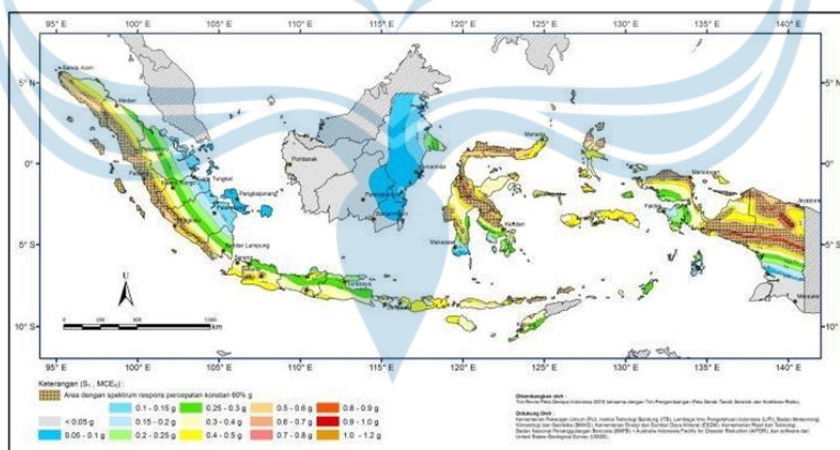
Parameter percepatan tanah ( $S_s$  dan  $S_1$ ) dipengaruhi oleh properti tanah pada lokasi proyek. Nilai  $S_s$  dan  $S_1$  digunakan untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, dimana  $S_s$  dan  $S_1$  berturut-turut



merupakan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek dan periode 1,0 detik. Dalam Gambar 2.1 dan 2.2 berturut-turut disajikan nilai  $S_s$  dan  $S_1$  untuk gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) pada batuan dasar. Dalam pekerjaan ini, lokasi bangunan berada di Kota Jambi sehingga digunakan nilai  $S_s = 0.3557$  dan  $S_1 = 0.2757g$ .



Gambar 2. 1  $S_s$ , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) Pada batuan dasar untuk periode pendek (0,2 detik) (Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 2. 2  $S_s$ , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) Pada batuan dasar untuk periode 1 detik (Sumber: SNI 1726:2019)

#### d. Menentukan Klasifikasi Situs (SA-SF)

Karakteristik lokasi proyek khususnya yang berhubungan dengan aspek geoteknik harus diidentifikasi dengan baik dalam proses perencanaan melalui



kegiatan penyelidikan lokasi proyek (*site investigation*). Kegiatan penyelidikan lokasi proyek ini dapat berupa penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Selanjutnya hasil dari penyelidikan lokasi proyek tersebut akan digunakan sebagai dasar dalam penentuan klasifikasi situs. Dalam SNI 1726:2019 klasifikasi situs dibedakan menjadi 6 jenis yaitu SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), dan SF (tanah khusus).

Tabel 2. 6 Kelas Situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
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 $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		
	- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

**CATATAN:** N/A = tidak dapat dipakai

Tabel 2. 7 Klasifikasi Site

Kedalaman di permukaan	Ni	Kedalaman (di)	di/Ni
0 sd 2	3	2	0.67
2 sd 4	5	4	0.40
4 sd 6	15	6	0.13
6 sd 8	25	8	0.08
8 sd 10	41	10	0.05
10 sd 12	45	12	0.04
12 sd 14	47	14	0.04
14 sd 16	35	16	0.06
16 sd 18	22	18	0.09
18 sd 20	21	20	0.10
20 sd 22	52	22	0.04
22 sd 24	52	24	0.04
24 sd 26	55	26	0.04
26 sd 28	55	28	0.04
28 sd 30	57	30	0.04
	$\Sigma$	30	1.84

Berdasarkan hasil uji N-SPT yang dilakukan di lapangan, didapatkan nilai  $N = 16,27069$  dengan hasil tersebut, site proyek termasuk dalam klasifikasi situs SD (tanah sedang). Data N-SPT selengkapnya dapat dilihat dalam laporan penyelidikan tanah.

Rumus mencari nilai N-SPT adalah  $N = \frac{\Sigma di}{\Sigma Ni}$

**e. Menentukan Koefisien Situs (Fa dan Fv)**

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan dipermukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik (Fa) dan 1 detik (Fv). Faktor amplifikasi tersebut ditentukan berdasarkan kelas situs dan parameter percepatan tanah. Faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik (Fa) ditentukan oleh kelas situs dan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 0,2 detik (Ss). Sedangkan faktor amplifikasi pada periode 1 detik (Fv) ditentukan oleh kelas situs dan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik (S1). Penentuan

koefisien situs (Fa dan Fv) didasarkan pada Tabel 2.8 dan 2.9.

Tabel 2. 8 Koefisien Situs Fa

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

Sumber: SNI 1726:2019

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara  $S_s$ , dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat

Tabel 2. 9 Koefisien situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 1 detik, $S_I$					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
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	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS <sup>(a)</sup>					

Sumber: SNI 1726:2019

- Untuk nilai-nilai antara  $S_I$ , dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Berdasarkan tabel 6 dan tabel 7, untuk kelas situs SD (tanah sedang) didapatkan nilai Fa dan Fv berturut-turut 1,51 dan 2,05. Selanjutnya nilai Fa dan Fv tersebut digunakan untuk menentukan parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$SMS = F_a \times S_s = 0,537g$$

$$SM1 = F_v \times S_I = 0,565g \text{ (pers 7 \& 8 SNI 1726:2019)}$$

**f. Menghitung Parameter Percepatan Desain (SDS dan SD1)**

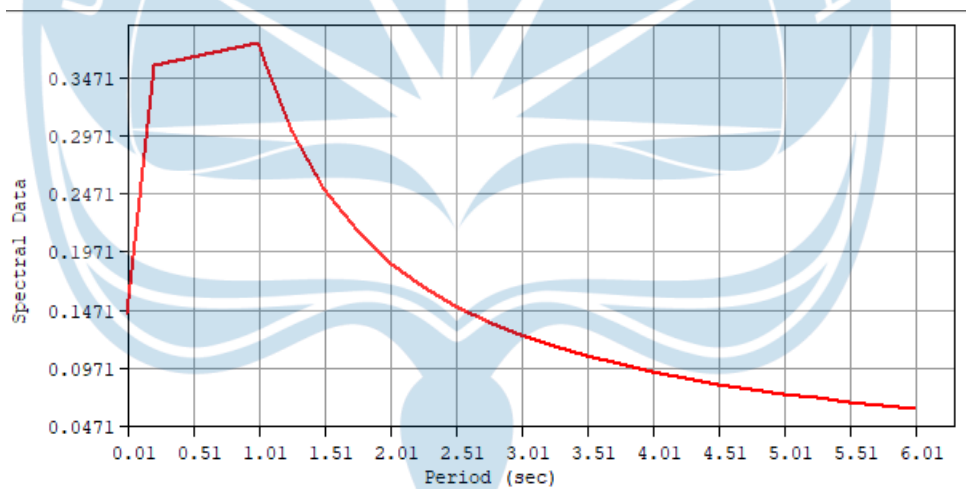
Pada langkah sebelumnya sudah didapatkan nilai SMS dan SM1. Selanjutnya berdasarkan nilai SMS dan SM1 tersebut, parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek 0,2 detik (SDS) dan periode 1 detik (SD1) perlu ditetapkan untuk menyusun kurva respons spektra. Nilai SDS dan SD1 dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$SDS = 2/3 \times SMS = 0,358g$$

$$SD1 = 2/3 \times SM1 = 0,376g \text{ ((pers 9 \& 10 SNI 1726:2019))}$$

**g. Menyusun Kurva Respon Desain**

Berdasarkan parameter respon *spectra* yang dihitung pada tahap sebelumnya, kurva respon spectra dapat disusun sebagai berikut :



Gambar 2. 3 Kurva respons spektra desain

Tabel 2. 10 Nilai periode dan percepatan respons spectra

T (detik)	Keterangan	Sa (g)	Keterangan
0	0	0.143228533	SDS*(0,4+0,6 T/To)
0.21046	T0	0.358071333	SDS*(0,4+0,6 T/To)
1.05228	TS	0.358071333	SDS*(0,4+0,6 T/To)
1.0000	TS+0	0.3768	SD1/T
1.2500	TS+0.1	0.3014	SD1/T
1.5000	TS+0.2	0.2512	SD1/T
1.7500	TS+0.3	0.2153	SD1/T
2.0000	TS+0.4	0.1884	SD1/T
2.2500	TS+0.5	0.1675	SD1/T
2.5000	TS+0.6	0.1507	SD1/T
2.7500	TS+0.7	0.1370	SD1/T
3.0000	TS+0.8	0.1256	SD1/T
3.2500	TS+0.9	0.1159	SD1/T
3.5000	TS+1	0.1077	SD1/T
3.7500	TS+1.1	0.1005	SD1/T
4.0000	TS+1.2	0.0942	SD1/T
4.2500	TS+1.3	0.0887	SD1/T
4.5000	TS+1.4	0.0837	SD1/T
4.7500	TS+1.5	0.0793	SD1/T
5.0000	TS+1.6	0.0754	SD1/T
5.2500	TS+1.7	0.0718	SD1/T
5.5000	TS+1.8	0.0685	SD1/T
5.7500	TS+1.9	0.0655	SD1/T
6.0000	TS+2	0.0628	SD1/T

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

Struktur yang didesain harus ditetapkan termasuk dalam kategori desain seismik (KDS) sesuai dengan Tabel 2.10 SNI 1726:2019. Dalam tabel 2.11 dan tabel 2.12 disajikan kategori desain seismik yang didasarkan pada hubungan SDS dan SD1 dengan KDS.

Tabel 2. 11 Kategori desain seismik berdasarkan nilai SDS

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

Tabel 2. 12 Kategori desain seismik berdasarkan nilai SD1

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

Sumber: SNI 1726:2019

Dalam pekerjaan ini, berdasarkan Tabel 2.11 dan Tabel 2.12 didapatkan kategori desain seismik (KDS) D.

#### i. Menentukan Sistem Dan Parameter Struktur ( $R$ , $C_d$ , $\Omega_0$ )

Sistem struktur penahan gaya gempa diizinkan untuk ditetapkan berbeda pada masing-masing sumbu ortogonal struktur. Parameter  $R$ ,  $C_d$ ,  $\Omega_0$  untuk setiap tipe sistem struktur penahan gaya gempa disajikan dalam Tabel 2.13.



Tabel 2. 13 R, Cd,  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup>					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>	
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI	
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI	
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI	
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22	
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22	
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB	
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30	
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30	
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>									
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI	
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 <sup>k</sup>	TI <sup>k</sup>	TI <sup>k</sup>	
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI <sup>l</sup>	TI <sup>l</sup>	TI <sup>l</sup>	
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI	
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI	
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI	
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI	
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI	
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan <sup>n</sup>	3½	3 <sup>o</sup>	3½	10	10	10	10	10	
<b>D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan</b>									
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
3. Dinding geser beton bertulang khusus <sup>g,h</sup>	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
4. Dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI	
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB	
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB	
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB	
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB	
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI	
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB	
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI	
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB	
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB	

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
<b>E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan</b>								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus <sup>g</sup>	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus <sup>g,h</sup>	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
<b>F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa<sup>g</sup></b>	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
<b>G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :</b>								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI'	TI'	TI'
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI
<b>H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever</b>	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

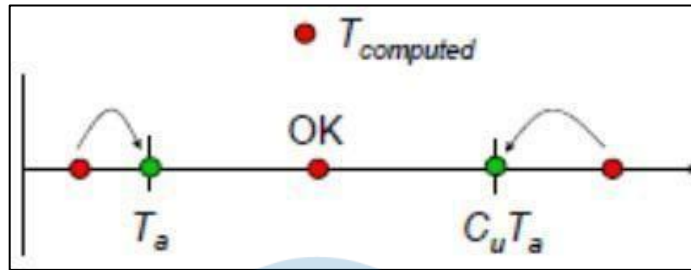
Sumber: SNI 1726:2019

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

$$R = 8, C_d = 5,5, \text{ dan } \Omega_0 = 3$$

#### j. Menentukan Periode Fundamental Alami Struktur (T)

Periode fundamental alami struktur akan menentukan nilai koefisien respons seismik ( $C_s$ ) yang juga akan menentukan nilai gaya geser dasar seismik (VELF). Jika periode struktur yang lebih akurat ( $T_c$ ) tidak dimiliki maka periode struktur yang digunakan dapat diambil sebesar  $T_a$ . 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 2.4) :



Gambar 2. 4 Penentuan periode struktur yang digunakan

(Sumber: FEMA 481)

Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) ditentukan dengan berdasarkan persamaan:  $T_a = C_t \cdot h_n^x$ . Dimana  $h_n$  adalah ketinggian struktur (dalam m), sedangkan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan berdasarkan Tabel 2.14.

Tabel 2. 14 Tipe Struktur

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Nilai koefisien untuk batas atas periode struktur yang dihitung ( $C_u$ ) ditetapkan berdasarkan Tabel 2.15.

Tabel 2. 15 Koefisien  $C_u$

Parameter percepatan respons spektral 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

Pada pekerjaan ini, tipe struktur yang digunakan adalah rangka pemikul momen khusus sehingga didapatkan nilai  $C_t = 0,0466$  dan  $x = 0,9$  di dapatkan dari

Tabel 12. Selanjutnya berdasarkan nilai  $SD1 = 0,376$  g didapatkan koefisien  $Cu = 1,4$ . Sehingga didapatkan nilai  $Ta = 0,697$  detik dan  $Cu.Ta = 0,976$  detik, sehingga periode struktur yang digunakan dalam analisis beban gempa dengan prosedur ELF adalah  $0,697$  detik.

**k. Menentukan Koefisien Respons Seismik (Cs)**

Koefisien respons seismik (Cs) ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$Cs = \frac{SDS}{R/Ie}$$

Nilai Cs yang dihitung sesuai dengan persamaan di atas tidak perumelebihi nilai Cs yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$Cs = \frac{SD1}{T \times \frac{R}{Ie}}$$

Namun nilai Cs harus tidak boleh kurang dari Cs yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$Cs = 0,044 SDS \quad Ie \geq 0,01$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana  $S1$  sama dengan atau lebih besar dari  $0,6g$ , maka Cs harus tidak kurang dari :

$$Cs = \frac{0,5 \times S1}{R/Ie}$$

Pada pekerjaan ini, hasil perhitungan koefisien respons seismik (Cs) didapatkan hasil

Tabel 2. 16 Hasil perhitungan koefisien respons seismik (Cs)

Rumus	Hasil Perhitungan
$Cs = SDS / (R / Ie)$	0,067
$Cs = SD1 / (T \times (R / Ie))$	0,101
$Cs = SD1 T_L / T^2 (R / Ie)$	2,902
$Cs = 0,044 SDS \quad Ie \geq 0,01$	0,0
$Cs = 0,5 S1 / (R / Ie)$	0,026

Maka digunakan nilai Cs adalah  $0,101$ .

## 2.5 Kombinasi Beban Rencana

Pada kombinasi beban ultimit ditetapkan berdasarkan Pasal 4.2.2 SNI 1726:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, yaitu sebagai berikut:

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

Apabila pengaruh beban seismik yang dimaksud,  $E = f(E_v, E_h)$  (pada 0 atau 0) dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismic yang gharus digunakan adalah:

6.  $1,2D + E_v + E_h + L$
7.  $0,9D - E_v + E_h$

Sedangkan kombinasi beban layan ditetapkan berdasarkan Pasal 4.2.3 SNI 1726:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, yaitu sebagai berikut:

1.  $D$
2.  $D + L$
3.  $D + (Lr \text{ atau } R)$
4.  $D + 0,75L + 0,75(Lr \text{ atau } R)$
5.  $D + 0,6W$
6.  $D + 0,75(0,6W) + 0,75L + 0,75(Lr \text{ atau } R)$
7.  $0,6D + 0,6W$

dimana,

$D$  = Beban mati (berat sendiri struktur dan beban mati tambahan)

$L$  = Beban hidup

$L_r$	= Beban hidup pada struktur atap
$R$	= Beban hujan
$W$	= Beban angin
$\rho$	= Faktor redundansi
$SDS$	= Parameter kecepatan spectral desain untuk periode pendek 0,2 detik

## 2.6 Permodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur dan perilaku struktur akibat beban yang bekerja. Hasil dari pemodelan struktur digunakan sebagai acuan untuk mendesain dimensi penampang elemen struktur yang diperlukan. Model struktur dikerjakan dengan beberapa idealisasi. Sebagai contoh, pelat lantai diidealisasikan sebagai elemen *shell*, sedangkan balok dan kolom di idealisasikan sebagai elemen *frame*. Pemodelan struktur yang dilakukan mampu mengakomodasi pengaruh kerusakan baja ketika terjadi gempa yaitu melalui reduksi momen inersia penampang elemen struktur.

### a. Definisi Material

Material yang digunakan dalam analisis struktur adalah sebagai berikut :

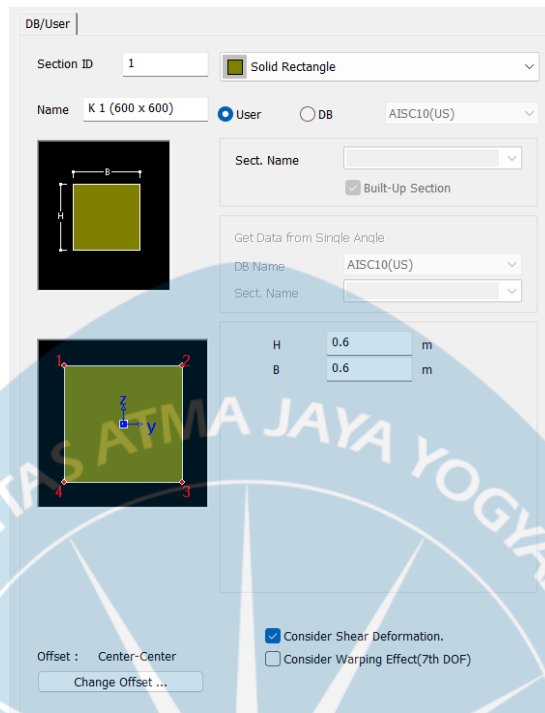
Baja : A 36

Beton :  $f_c'$  30 Mpa

### b. Definisi Profil Balok dan Kolom

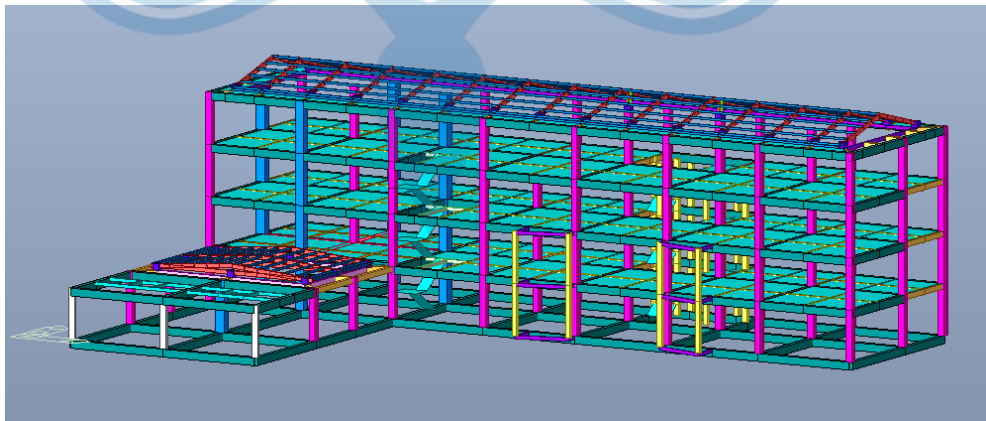
Penampang balok dan kolom di definisikan sebagai berikut :





Gambar 2. 5 Propertis Kolom K1

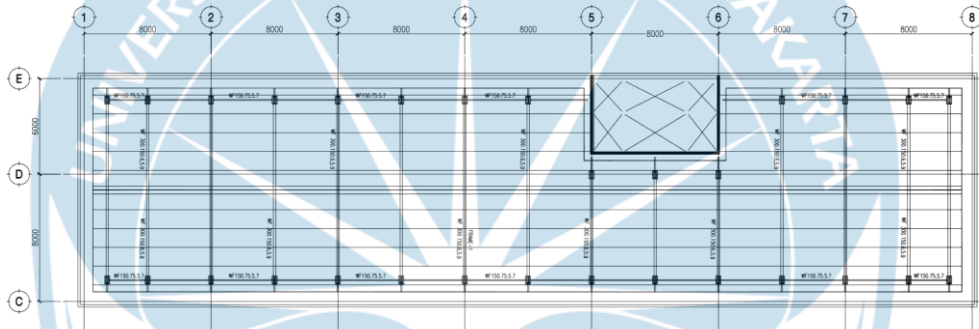
Setelah material dan section properties sudah lengkap, langkah selanjutnya adalah membuat model 3D. Model mengakomodasi semua ukuran balok dan kolom, beserta tulangan yang direncanakan untuk terpasang ditunjukkan pada gambar berikut.



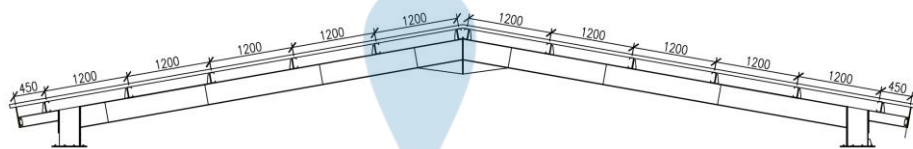
Gambar 2. 6 Pemodelan Struktur Menggunakan Midas Gen

## 2.7 Perencanaan Atap

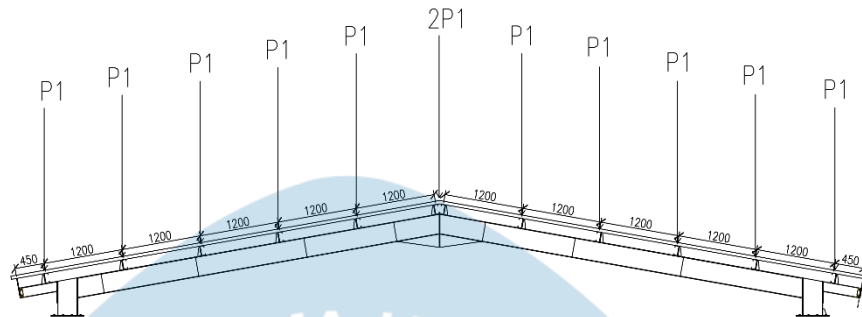
Kuda-kuda baja monoframe dengan panjang bentang 11,3 m dan jarak antar kuda-kuda sebesar 4 m, serta bentang panjang atap 53 m. Bangunan ini ditutup dengan atap spandex yang memiliki beban sendiri sebesar 0,12 kN/m<sup>2</sup>. Baja BJ 37 dengan tegangan leleh  $f_y = 240$  MPa digunakan dalam perencanaan ini. Perhitungan pembebanan didasarkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia (PPIUG, 1983). Perencanaan kuda-kuda baja monoframe meliputi perencanaan profil dan perhitungan pada sambungan. Denah kuda-kuda baja beserta potongan penampangnya dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2. 7 Denah atap



Gambar 2. 8 Potongan atap



Gambar 2. 9 Titik beban

### 2.7.1 Perhitungan Gording Atap

Perencanaan sudut atap =  $10^\circ$

Berat sendiri atap Spandex =  $3,06 \text{ kg/m}^2$

Jarak antar kuda-kuda =  $4 \text{ m}$

Lebar bentang =  $11,3 \text{ m}$

#### a) Pembebanan Gording

Profil yang digunakan WF  $150 \times 75 \times 5 \times 7$  dengan melihat spesifikasi baja pada pedoman Baja Gunung Garuda

W =  $14 \text{ kg/m}$

H =  $150 \text{ mm}$

c =  $5 \text{ mm}$

Ix =  $666 \text{ cm}^4$

Iy =  $49,5 \text{ cm}^4$

B =  $75 \text{ mm}^3$

t =  $7 \text{ mm}^4$

Zx =  $88 \text{ cm}^3$

Zy =  $13 \text{ cm}^4$

- **Beban Mati**

$$\begin{aligned} \text{Spandex} &= 0,12 \text{ kN/m} \\ \text{Profil WF 150 X 75 X 5 X7} &= 0,14 \text{ kN/m} \\ \text{Beban mati (WD)} &= \frac{0,12 + 0,14}{2} = 0,2624 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{WD}_y = (\text{WD} \times \cos 10^\circ) = (0,2624 \times \cos 10^\circ) = 0,23 \text{ kN/m}$$

$$\text{M}_x = \frac{1}{8} \times \text{WD}_y \times 4^2 = \frac{1}{8} \times 0,23 \times 4^2 = 0,45 \text{ kNm}$$

$$\text{WD}_x = (\text{WD} \times \sin 10^\circ) = (0,2624 \times 0,5) = 0,1312 \text{ kN/m}$$

$$\text{M}_y = \frac{1}{8} \times \text{WD}_x \times 4^2 = \frac{1}{8} \times 0,1312 \times 4^2 = 0,2624 \text{ kNm}$$

- **Beban Hidup**

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

$$P_y = P \times \cos 10^\circ = 0,98 \text{ kN}$$

$$\text{M}_x = \frac{1}{4} \times P_y \times 4^2 = 3,94 \text{ kNm}$$

$$P_x = P \times \sin 10^\circ = 1 \times \sin 10^\circ = 0,17 \text{ kN}$$

$$\text{M}_y = \frac{1}{4} \times P_x \times 4^2 = 0,69 \text{ kNm}$$

- **Beban Angin**

Koefisien angin

$$\begin{aligned} \text{Pihak angin} &= 0,02 \times \text{derajat kemiringan} - 0,4 \\ &= 0,02 \times 10 \\ &= -0,2 \end{aligned}$$

Setiap 1m gording menerima beban angin sebesar :

$$w = -0,06 \text{ kN/m}$$

$$\text{M}_x = -0,12 \text{ kNm}$$

- **Kombinasi 1**

(beban mati +beban hidup)

Beban tegak lurus atap

$$M_{ux} = 1,2D + 1,6L = 1,2 (0,33) + 1,6 (3,94) = 6.70 \text{ kNm}$$

Beban tegak sejajar atap

$$M_{uy} = 1,2D + 1,6L = 1,2 (0,19) + 1,6 (0,60) = 1.34 \text{ kNm}$$

Kombinasi II (beban mati +beban angin)

Beban tegak lurus atap

$$M_{ux} = 0,9D + 1,3W = 0,9 (0,33) + 1,3 (-0,12) = 0.14 \text{ kNm}$$

Beban tegak sejajar atap

$$M_{uy} = 0,9D = 0,9 (0,33) = 0.3 \text{ kNm}$$

- Kombinasi 2

Beban tegak lurus atap

$$M_{ux} = 0,9D + 0,9W = 1,3 (0,33) + 0,9 (-0,12) = 0.14 \text{ kNm}$$

Beban tegak sejajar atap

$$M_{uy} = 0,9D = 0,9 (0,33) = 0.30 \text{ kNm}$$

- Kontrol Tegangan

Kombinasi 1

$$M_{ux} = 6,70 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 1,34 \text{ kNm}$$

$$Z_x = 37,4 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 8,2 \text{ cm}^3$$

$$f = \frac{M_{ux}}{\varphi} + \frac{M_{uy}}{\varphi} = \frac{6,7 \times 10^3}{0,9 \times 37,4} + \frac{1,34 \times 10^3}{0,9 \times 8,2} = 380,46 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$$

**OK!**

Kombinasi 2

$$M_{ux} = 0,14 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 0,30 \text{ kNm}$$

$$Z_x = 37,4 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 8,2 \text{ cm}^3$$

$$f = \frac{M_{ux}}{\varphi} + \frac{M_{uy}}{\varphi} = \frac{6,7 \times 10^3}{0,9 \times 37,4} + \frac{1,34 \times 10^3}{0,9 \times 8,2} = 44,30 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$$

**OK!**

- Kontrol Lendutan

$$I_x = 666 \text{ cm}^3$$

$$W_{dy} = 0,23 \text{ kN/m}$$

$$P_y = 0,98 \text{ kN}$$

$$I_y = 49,5 \text{ cm}^3$$

$$W_{dx} = 0,1312 \text{ kN/m}$$

$$P_x = 0,17 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \delta y &= \frac{SW_{DY}L^4}{384EI_x} + \frac{PDY,L^4}{48EI_x} \\ &= \frac{5 \times 164,5 \times 44}{384 (2 \times 10^5) \times 666} + \frac{984,4 \times 4^3}{48 (2 \times 10^5) \times 666} \\ &= 0,000014 \text{ mm} < 0,01111 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, Profil WF150 × 75 × 5 × 7 dapat digunakan.

Pembebanan Kuda – kuda

- Beban Mati

**P1**

$$\text{Berat sendiri} = \frac{\text{Lebar bentang}}{2} \times \frac{\text{berat}}{m} = \frac{3,11}{2} \times 36,67 = 207,167 \text{ kg}$$

$$\text{Berat gording} = \text{Lebar bentang} \times \text{berat kuda-kuda}$$

$$= 11,3 \text{ m} \times 14 \text{ kg} = 158,2 \text{ kg}$$

$$\text{Berat atap} = \frac{\frac{\text{bentang} + 0,45}{2}}{0,984 \times \text{bentang} \times \text{berat atap}} = 214,36 \text{ kg}$$



$$\begin{aligned} \text{Beban P1} &= \text{berat sendiri} + \text{berat gording} + \text{berat atap} \\ &= 579,722 \text{ kg} = 5,68 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 2P1

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri kuda-kuda} &= \text{bentang} \times \text{berat kuda-kuda} \\ &= 414,33 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat gording} &= \text{bentang} \times \text{berat gording} \\ &= 316,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat atap} &= \frac{a}{\cos a} \times \text{bentang} \times \text{berat atap} \\ &= 396,76 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban 2P1} &= \text{berat sendiri kuda-kuda} + \text{berat gording} + \text{berat atap} \\ &= 1127,495519 \text{ kg} = 11,05 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Beban Hidup**

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

- **Beban Angin**

$$c = 0,02 \times a - 0,4 = -0,2$$

$$W1 = -0,24 \text{ kN}$$

$$W_y = W1 \cos 10^\circ = -0,24 \text{ kN} \quad (\text{keatas})$$

$$W_x = W1 \sin 10^\circ = -0,04 \text{ kN} \quad (\text{kekiri})$$

- **Di belakang Angin**

$$C = 0,4 \text{ (hisap)}$$

$$W2 = 0,48$$

$$W_y = W2 \cos 10^\circ = 0,47 \text{ (keatas)}$$

$$W_x = W2 \sin 10^\circ = 0,08 \text{ (kekanan)}$$

b) **Pembebanan Kanopi**

$$\text{Berat sendiri atap spandek} = 3,06 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Jarak antar kuda2} = 4,5 \text{ m}$$

Kemiringan atap ( $\alpha$ )	= 10 derajat
Jarak antar gording	= 1,1 m
Berat atap/spandek	= 12,24 kg/m = 3,06 kg/m <sup>2</sup>
Lebar bentang (a) (L)	= 13 m

c) Pembebanan Gording Kanopi

WF 150 × 75 × 5 × 7

w	= 14 kg/m
h	= 150 mm
c	= 5 mm
I <sub>x</sub>	= 666 cm <sup>4</sup>
I <sub>y</sub>	= 49,5 cm <sup>4</sup>
b	= 75 mm <sup>3</sup>
t	= 7 mm <sup>4</sup>
Z <sub>x</sub>	= 88 cm <sup>3</sup>
z <sub>y</sub>	= 13 cm <sup>4</sup>

• Beban Mati

Spandek	= 0,12 kN/m
Profil WF 150 × 75 × 5 × 7	= 0,14 kN/m
Beban mati (WD)	= 0,2624 kN/m

$$WD_y = (WD \times \cos 10^\circ) = (0,2624 \times \cos 10^\circ) = 0,23 \text{ kN/m}$$

$$M_x = \frac{1}{8} \times WD_y \times 4^2 = \frac{1}{8} \times 0,23 \times 4^2 = 0,45 \text{ kNm}$$

$$WD_x = (WD \times \sin 10^\circ) = (0,23 \times 0,095) = 0,1312 \text{ kN/m}$$

$$M_y = \frac{1}{8} \times WD_x \times 4^2 = \frac{1}{8} \times 0,1312 \times 4^2 = 0,2624 \text{ kNm}$$

• Beban Hidup

P	= 1 kN
P <sub>y</sub>	= P × cos 10° = 0,98 kN

$$M_x = \frac{1}{4} \times P_y \times 4^4 = 3,94 \text{ kNm}$$

$$P_x = P \times \sin 10^\circ = 1 \times \sin 10^\circ = 0,17 \text{ kN}$$

$$M_y = \frac{1}{4} \times P_x \times 4^4 = 0,69 \text{ kNm}$$

- **Beban Angin**

Koefisien angin

$$\text{Pihak angin} = 0,02 \times \text{derajat kemiringan} - 0,4 = 0,02 \times 10 = -0,2$$

Setiap 1m gording menerima beban angin sebesar :

$$w = -0,06 \text{ kn/m}$$

$$M_x = -0,12 \text{ kNm}$$

- **Kombinasi 1**

Kombinasi I (beban mati +beban hidup)

Beban tegak lurus atap

$$M_{ux} = 1,2D + 1,6L = 1,2 (0,33) + 1,6 (3,94) = 6,70 \text{ kNm}$$

Beban tegak sejajar atap

$$M_{uy} = 1,2D + 1,6L = 1,2 (0,19) + 1,6 (0,60) = 1,34 \text{ kNm}$$

Kombinasi II (beban mati + beban angin)

Beban tegak lurus atap

$$M_{ux} = 0,9D + 1,3W = 0,9 (0,33) + 1,3 (-0,12) = 0,14 \text{ kNm}$$

Beban tegak sejajar atap

$$M_{uy} = 0,9D = 0,9 (0,33) = 0,3 \text{ kNm}$$

- **Kombinasi 2**

Beban tegak lurus atap

$$M_{ux} = 0,9D + 0,9W = 1,3 (0,33) + 0,9 (-0,12) = 0,14 \text{ kNm}$$

Beban tegak sejajar atap

$$M_{uy} = 0,9D = 0,9 (0,33) = 0,30 \text{ kNm}$$

- Kontrol Tegangan

Kombinasi 1

$$M_{ux} = 6,70 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 1,34 \text{ kNm}$$

$$Z_x = 37,4 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 8,2 \text{ cm}^3$$

$$f = \frac{M_{ux}}{\varphi} + \frac{M_{uy}}{\varphi} = \frac{6,7 \times 10^3}{0,9 \times 37,4} + \frac{1,34 \times 10^3}{0,9 \times 8,2} = 380,46 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$$

OK!

Kombinasi 2

$$M_{ux} = 0,14 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 0,30 \text{ kNm}$$

$$Z_x = 37,4 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 8,2 \text{ cm}^3$$

$$f = \frac{M_{ux}}{\varphi} + \frac{M_{uy}}{\varphi} = \frac{6,7 \times 10^3}{0,9 \times 37,4} + \frac{1,34 \times 10^3}{0,9 \times 8,2} = 44,30 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$$

OK!

- Kontrol Lendutan

$$I_x = 666 \text{ cm}^3$$

$$W_{dy} = 0,23 \text{ kN/m}$$

$$P_y = 0,98 \text{ kN}$$

$$I_y = 49,5 \text{ cm}^3$$

$$W_{dx} = 0,1312 \text{ kN/m}$$

$$P_x = 0,17 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \delta y &= \frac{SW DY \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x} + \frac{PDY \cdot L^4}{48 \cdot E I_x} \\ &= \frac{5 \times 164,5 \times 44}{384 (2 \times 10^5) \times 666} + \frac{984,4 \times 4^3}{48 (2 \times 10^5) \times 666} \\ &= 0,000014 \text{ mm} < 0,01111 \text{ mm} \end{aligned}$$

(Profil WF 150 × 75 × 5 × 7 dapat digunakan)

Pembebanan Kuda – kuda Kanopi

Profil WF 300 × 150 × 6,5 × 9

H = 300 mm

b = 150 mm

W = 36,7 kg/m

I<sub>x</sub> = 12,4 cm<sup>4</sup>

I<sub>y</sub> = 3,29 cm<sup>4</sup>

Berat sendiri = 36,7 kg/m

Berat atap =  $\left( \frac{\text{jarak antar kuda-kuda}}{\text{kemiringan atap}} \right) \times \text{berat atap}$   
= 5,51 kg/m

DL rencana gording = berat sendiri + berat atap

= 42,208 kg/m

= 0,42 kN/m

LL diambil 1 kN = 100 kg

= 1 kN

## 2.8 Perencanaan Tangga

Perencanaan perhitungan tangga ini menggunakan acuan SNI 1727: 2020 dengan mengambil contoh perhitungan tangga darurat.

### 2.8.1 Preliminary Desain Tangga

Diketahui :

Panjang Tangga = 4750 mm

Lebar bordes = 1850 mm

Optrede (O) = 180 mm

Antrede (A) = 300 mm

Tebal plat tangga (htg) = 27,71 cm

Tinggi antar lantai (Het) = 4000 mm

Tinggi bordes = 2000 mm

Ltg = 1850 mm

Kemiringan tangga = 30,96°

Tebal bordes = 200 mm

Tinggi beban merata tangga

$$t = \frac{(0,5 \cdot O \cdot A)}{\sqrt{O^2 \cdot A^2}} = \frac{(0,5 \cdot 18 \cdot 30)}{\sqrt{18^2 \cdot 30^2}} = 7,71744 \text{ cm}$$

$$h = tb + t'$$

$$= 20 + 7,71744$$

$$= 27,71744 \text{ cm}$$

### 2.8.2 Pembebanan tangga

Pembebanan Tangga Tipe 1

Berat volume beton = 24

Berat volume ubin = 21

Maka didapatkan hasil :

Beban qtg :

$$\text{Berat sendiri tangga} = \frac{0,20}{\cos 30,96} \times 24 = 5,581 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat anak tangga} = \frac{1}{2} \times 0,18 \times 24 = 2,16 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat ubin dan spesi} = 0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat railing (diperkirakan)} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma \text{Beban qtg} = 9,79 \text{ kN/m}^2$$

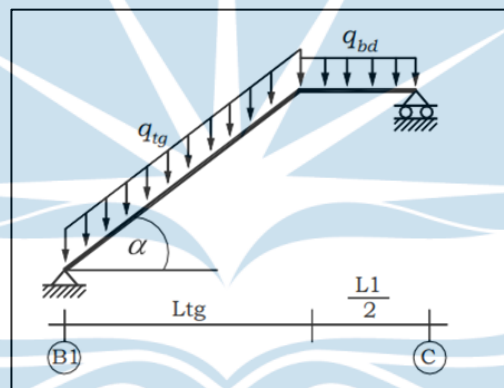
Beban qbd :

$$\text{Berat sendiri tangga} = 0,2 \times 24 = 4,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat ubin dan spesi} = 0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat railing (diperkirakan)} = 1 \text{ kN/m}^2$$

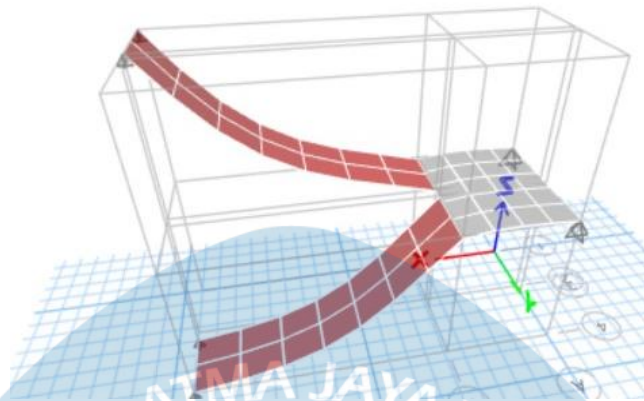
$$\Sigma \text{Beban qbd} = 6,85 \text{ kN/m}^2$$



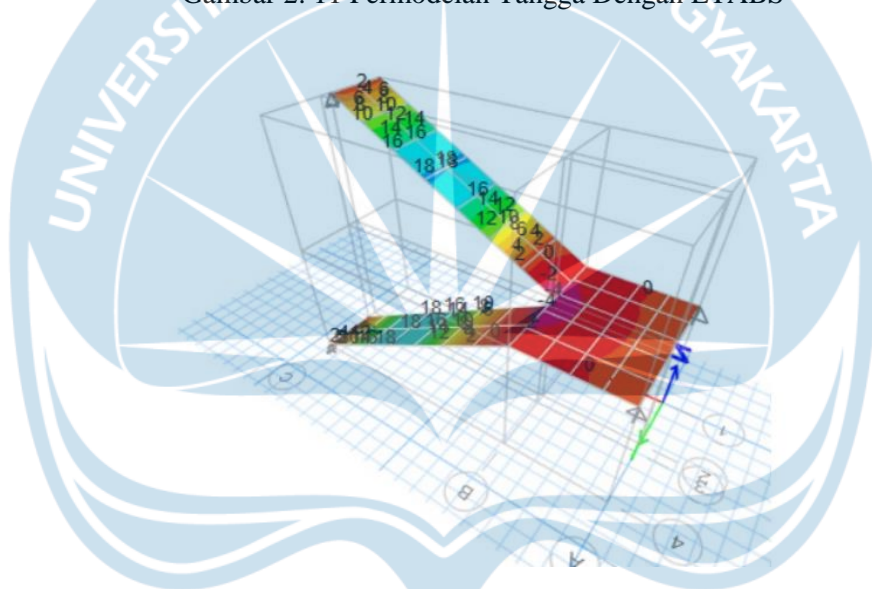
Gambar 2. 10 Beban Merata Tangga

$$\text{Beban hidup} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$





Gambar 2. 11 Permodelan Tangga Dengan ETABS



Gambar 2. 12 Output Beban Tangga dengan ETABS

Pembebanan Tangga Darurat

Berat volume beton = 24 kN

Berat volume ubin = 21 kN

Maka didapatkan hasil :

Beban qtg :

$$\text{Berat sendiri tangga} = \frac{0,20}{\cos 30,96} \times 24 = 5,581 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat anak tangga} = \frac{1}{2} \times 0,18 \times 24 = 2,16 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat ubin dan spesi} = 0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

Berat railing (diperkirakan)		= 1 kN/m <sup>2</sup>
	$\Sigma$ Beban qtg	= 9,791 kN/m <sup>2</sup>
Beban qbd :		
Berat sendiri tangga	= 0,2 × 24	= 4,8 kN/m <sup>2</sup>
Berat ubin dan spesi	= 0,05 × 21	= 1,05 kN/m <sup>2</sup>
Berat railing (diperkirakan)		= 1 kN/m <sup>2</sup>
	$\Sigma$ Beban qbd	= 6,85 kN/m <sup>2</sup>

### 2.8.3 Penulangan Tangga

Tumpuan

Mu = Mmaks

$$= 18,346 \text{ kNm}$$

Direncanakan tulangan pokok D13 As = 132,73 mm<sup>2</sup>

Direncanakan tulangan susut P8

Fy tulangan pokok = 420 Mpa

Fy tulangan susut = 280 Mpa

Bw = 1 m

h = t tangga + t' = 200 + 77,1 = 277,1

D = h - p - (l/2, ϕ) = 277,1 - 20 - (0,5, 13) = 250,6 mm = 0,2506 m

a) Tulangan Tumpuan

$$\rho = \frac{0,85f'rc}{fy} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4Mu}{1,7 \cdot \phi \cdot f'c \cdot b \cdot d^2}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 18,346}{1,7 \cdot 0,9 \cdot 30 \cdot 1000 \cdot 250 \cdot 6^2}} \right) = 0,0007238$$

$$As \text{ min} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \times 1000 \times 277,1 = 554,2 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0007238 \times 1000 \times 250 = 180 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{554,2} = 239,5 \text{ mm}$$

Digunakan D13 – 200

Cek gaya geser :

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 0,17 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 250,6 = 233,34 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 V_c = 0,75 \times 233,34 = 175 \text{ kN}$$

b) Tulangan Susut

$$A_s \text{ min} = 554,2 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{50,286 \cdot 1000}{554,2} = 90,736 \text{ mm}$$

Tulangan susut P8-100

c) Tulangan Lapangan

$$D = h - p - (1/2 \cdot \phi)$$

$$= 277,1 - 20 - (0,5 \cdot 13) = 250,6 \text{ mm} = 0,2506 \text{ m}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4Mu}{1,7 \phi f'_c b d^2}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4,18,346}{1,7 \cdot 0,9 \cdot 30 \cdot 1000 \cdot 250 \cdot 6^2}} \right) = 0,0007238$$

$$A_s \text{ min} = 0,002bh = 0,002 \times 1000 \times 277,1 = 554,2 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0007238 \times 1000 \times 250 = 180 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_s} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{554,2} = 239,5 \text{ mm}$$

Tulangan Lapangan D13 – 200

## 2.8.4 Rekap Penulangan

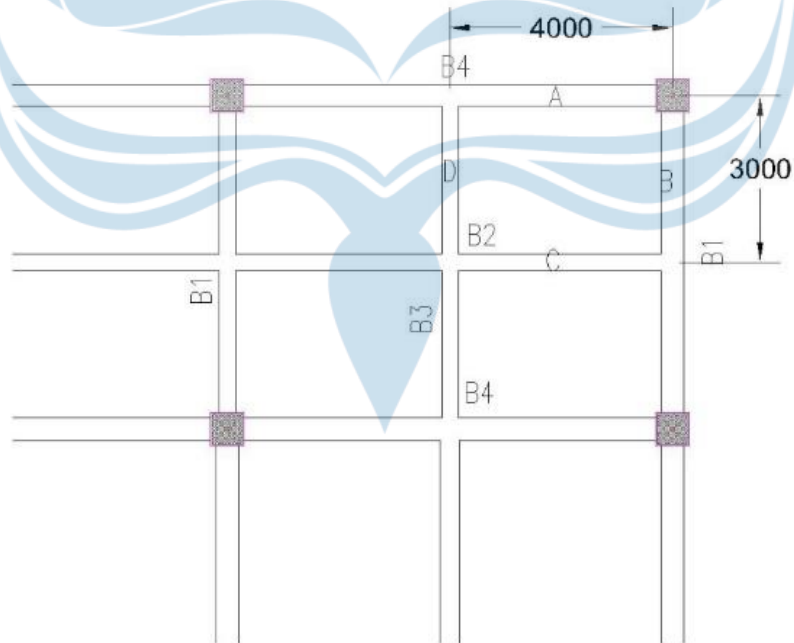
Dari hasil perhitungan penulangan tangga diatas didapatkan rekap penulangan.

Tabel 2. 17 Rekap Penulangan Tangga

Tulangan Tumpuan	D13 - 200
Tulangan Susut	P8 - 100
Tulangan Lapangan	D13 - 200
Tulangan Anak Tangga	P8 - 100

## 2.9 Perencanaan Pelat

Desain pelat lantai dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019 dan Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI, 1971) untuk menghitung momen. Pada perhitungan ini disajikan langkah-langkah perhitungan/desain pelat lantai (tebal 130 mm).



Gambar 2. 13 Desain pelat lantai 2 arah (as/grid = E sd D / 7 sd 8)

### 2.9.1 Preliminary design

Material:

$$F'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$F_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{30} = 25,743 \text{ MPa}$$

Ukuran dan dimensi asumsi:

$$\text{Balok A} = 400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$$

$$\text{Balok B} = 300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$$

$$\text{Balok C} = 250 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$$

$$\text{Balok D} = 150 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$$

$$h = 12,5 \text{ cm} = 125 \text{ mm} \rightarrow \text{asumsi}$$

$$\text{Tebal selimut (ts)} = 2 \text{ cm} = 20 \text{ mm}$$

$$\emptyset \text{ tulangan lentur} = 13 \text{ mm (arah x \& arah y)}$$

$$\emptyset \text{ tulangan susut} = 10 \text{ mm}$$

### 2.9.2 Identifikasi & kontrol ketebalan pelat

$$\frac{l_y}{l_x} \leq 2 \rightarrow \text{pelat dua arah}$$

$$\beta = 4000 \text{ mm} / 3000 \text{ mm} = 1,41 < 2 \rightarrow \text{termasuk pelat dua arah}$$

- Balok A (400 mm × 600 mm)

$$b_e = b_w + (h_w - t)$$

$$= 400 + (600 - 125)$$

$$= 875 \text{ mm}$$

$$I_b = k \cdot \frac{bw \cdot hw^3}{12}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right) \cdot \left[4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$= \frac{1 + \left(\frac{875}{400} - 1\right) \cdot \left(\frac{125}{600}\right) \cdot \left[4 - 6\left(\frac{125}{600}\right) + 4\left(\frac{125}{600}\right)^2 + \left(\frac{875}{400} - 1\right) \cdot \left(\frac{125}{600}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{875}{400} - 1\right) \cdot \left(\frac{125}{600}\right)}$$

$$= 1,38$$

$$I_b = 1,38 \cdot \frac{400 \cdot 600^3}{12}$$

$$= 9962201595 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{2000 \cdot 125^3}{12} = 325520833,3 \text{ mm}^4$$

$$\text{Kekakuan : } \alpha_{fy1} = \frac{E_c \cdot I_b}{E_c \cdot I_s} = \frac{25,743 \times 9962201595}{25,743 \times 325520833,3} = 30,6$$

- Balok B (300 mm × 400 mm)

$$be = bw + (hw - t)$$

$$= 300 + (400 - 125)$$

$$= 575 \text{ mm}$$

$$I_b = k \cdot \frac{bw \cdot h^3}{12}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right) \cdot \left[4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$= \frac{1 + \left(\frac{575}{300} - 1\right) \cdot \left(\frac{125}{400}\right) \cdot \left[4 - 6\left(\frac{125}{400}\right) + 4\left(\frac{125}{400}\right)^2 + \left(\frac{575}{300} - 1\right) \cdot \left(\frac{125}{400}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{575}{300} - 1\right) \cdot \left(\frac{125}{400}\right)}$$

$$= 1,34$$

$$I_b = 1,34 \cdot \frac{300 \cdot 400^3}{12}$$

$$= 2149946362 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{1500 \cdot 125^3}{12} = 244140625 \text{ mm}^4$$

$$\text{Kekakuan : } \quad afy_2 = \frac{Ec \cdot I_b}{Ec \cdot I_s} = \frac{25,743 \times 2149946362}{25,743 \times 244140625} = 8,8$$

- Balok C (250 mm × 500 mm)

$$be = bw + 2(hw - t)$$

$$= 250 + 2(500 - 125)$$

$$= 1000 \text{ mm}$$

$$I_b = k \cdot \frac{bw \cdot h^3}{12}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right) \cdot \left[4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$= \frac{1 + \left(\frac{1000}{250} - 1\right) \cdot \left(\frac{125}{500}\right) \cdot \left[4 - 6\left(\frac{125}{500}\right) + 4\left(\frac{125}{500}\right)^2 + \left(\frac{1000}{250} - 1\right) \cdot \left(\frac{125}{500}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{1000}{250} - 1\right) \cdot \left(\frac{125}{500}\right)}$$

$$= 1,77$$

$$I_b = 1,77 \cdot \frac{250 \cdot 500^3}{12}$$

$$= 4609607515 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{4000 \cdot 125^3}{12} = 651041666,7 \text{ mm}^4$$

$$\text{Kekakuan : } \quad afy_3 = \frac{Ec \cdot I_b}{Ec \cdot I_s} = \frac{25,743 \times 4609607515}{25,743 \times 651041666,7} = 7,1$$

- Balok D (150 mm × 250 mm)

$$be = bw + 2(hw - t)$$

$$= 150 + 2(250 - 125)$$

$$= 400 \text{ mm}$$



$$I_b = k \cdot \frac{bw \cdot h^3}{12}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right) \cdot \left[4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \cdot \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$= \frac{1 + \left(\frac{400}{150} - 1\right) \cdot \left(\frac{125}{250}\right) \cdot \left[4 - 6\left(\frac{125}{250}\right) + 4\left(\frac{125}{250}\right)^2 + \left(\frac{400}{150} - 1\right) \cdot \left(\frac{125}{250}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{400}{150} - 1\right) \cdot \left(\frac{125}{250}\right)}$$

$$= 1,55$$

$$I_b = 1,55 \cdot \frac{150 \cdot 250^3}{12}$$

$$= 302586411 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{3000 \cdot 125^3}{12} = 488281250 \text{ mm}^4$$

$$\text{Kekakuan : } \alpha_{fy4} = \frac{Ec \cdot I_b}{Ec \cdot I_s} = \frac{25,743 \times 302586411}{25,743 \times 488281250} = 0,62$$

Maka didapatkan  $\alpha_{fm}$ :

$$\alpha_{fm} = \frac{\alpha_{f1} + \alpha_{f2} + \alpha_{f3} + \alpha_{f4}}{4} = \frac{30,6 + 8,8 + 7,1 + 0,62}{4} = 11,78$$

Ketebalan minimum pelat ( $h_{min}$ ) dapat diperhitungkan dengan Tabel 8.3.1.2 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya, Diketahui  $\alpha_{fm} > 2$  maka digunakan persamaan (d),

Tabel 2. 18 Ketebalan minimum pelat dua arah

$\alpha_{fm}$ [1]	$h$ minimum, mm	
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku	(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)$
		$\frac{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}{125}$
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)$
		$\frac{36 + 9\beta}{90}$

Dimana:

$h$  : tebal minimum pelat (mm)

$l_n = l_{ny}$  : panjang bersih pelat arah memanjang (mm)

$l_{ny}$  : bentang bersih dalam arah panjang (mm)

$l_{nx}$  : bentang bersih dalam arah pendek (mm)

$$l_n = l_{n1} = 3775 \text{ mm}$$

$$l_{n2} = 2675 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{l_{n1}}{l_{n2}} = \frac{3775}{2675} = 1,41$$

Maka, tebal minimum pelat dapat dihitung:

$$h_{min} = \frac{L_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} = \frac{3775(0,8 + \frac{420}{1400})}{36 + 9(1,41)} = 86 \text{ mm} < 90 \text{ mm}$$

Sehingga didapatkan tebal minimum pelat adalah 90 mm,  $h_{min}$  (ketebalan) yang digunakan adalah 130 mm atau 13 cm,

### 2.9.3 Pembebanan pelat

Berdasarkan SNI 8900 : 2020 Tabel 4.4 Masa jenis minimum material y untuk evaluasi beban mati dan beban hidup didapatkan hasil beban mati (DL) sebagai berikut:

Beban pelat sendiri	$= 0,13 \times 24$	$= 3,12 \text{ kN/m}^2$	
Beban pasir (tebal 5 cm)	$= 0,05 \times 18$	$= 0,9 \text{ kN/m}^2$	
Beban spesi (tebal 3 cm)	$= 0,03 \times 21$	$= 0,63 \text{ kN/m}^2$	
Beban keramik (tebal 2 cm)	$= 0,02 \times 21$	$= 0,42 \text{ kN/m}^2$	
Beban Plafond		$= 0,2 \text{ kN/m}^2$	
Beban MEP		$= 0,25 \text{ kN/m}^2$	+

---

$$\text{Total Beban Mati (DL)} = 5,52 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban hidup (LL)} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban kombinasi : } Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (5,52) + 1,6 (4,79) \\ &= 14,288 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

#### 2.9.4 Menentukan Momen Ultimit (Mu)

Pada perhitungan momen ultimit menggunakan PBI 1971 (hal 202) digunakan Tabel 13,3,1 Momen di dalam pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya akibat beban terbagi rata untuk mencari nilai X,

$$\text{Karena } \frac{l_y}{l_x} = \frac{3775}{2675} = 1,41$$

Maka asumsi: terjepit penuh

$$M_{lx} = 0,001 \times Q_u \times l_x^2 \times X \quad (X=34)$$

$$M_{ly} = 0,001 \times Q_u \times l_x^2 \times X \quad (X=18)$$

$$M_{tx} = -0,001 \times Q_u \times l_x^2 \times X \quad (X=73)$$

$$M_{ty} = -0,001 \times Q_u \times l_x^2 \times X \quad (X=57)$$

Diperoleh:

$$M_{lx} = 0,001 \times 14,432 \times 3^2 \times 34 = 4,398 \text{ kNm}$$

$$M_{ly} = 0,001 \times 14,432 \times 3^2 \times 18 = 2,328 \text{ kNm}$$

$$M_{tx} = -0,001 \times 14,432 \times 3^2 \times 73 = -9,442 \text{ kNm}$$

$$M_{ty} = -0,001 \times 14,432 \times 3^2 \times 57 = -7,373 \text{ kNm}$$

$$M_{ux} = 9,442 \text{ kNm} = 9442000 \text{ Nmm (Tulangan arah X)}$$

$$M_{uy} = 7,373 \text{ kNm} = 7373000 \text{ Nmm (Tulangan arah Y)}$$

## 2.9.5 Desain Tulangan Lentur dan Tulangan Susut

Diketahui:

Tulangan lentur = 13 mm

Tulangan susut = 10 mm

Tebal selimut beton = 20 mm

- Tulangan Arah X

$$dx = h - ts - \frac{\emptyset \text{ tul, lentur}}{2} = 130 - 20 - \frac{13}{2} = 103,5 \text{ mm}$$

$$Mny = \frac{Muy}{\emptyset} = \frac{7373000}{0,9} = 8192222,2 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mny}{b \cdot dx^2} = \frac{8192222,2}{1000 \cdot 103,5^2} = 0,765$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{420}{0,85 \cdot 30} = 16,471$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,471} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,471 \times 0,765}{420}} \right) = 0,00185$$

$$\begin{aligned} \text{Karena : } fy \geq 420 \text{ MPa} \rightarrow \rho_{min} &= \frac{0,0018 \times 420}{fy} \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} = 0,0018 \text{ atau } 0,0014 \end{aligned}$$

Diambil nilai  $\rho_{min}$  yang terbesar yaitu 0,00185

$$Ash = \rho \cdot b \cdot dx = 0,00185 \times 1000 \times 103,5 = 191,475 \text{ mm}^2 \approx 200 \text{ mm}^2$$

$s < 3h$  atau 450 mm

$$\rightarrow 3h = 3(130) = 390 \text{ mm (7,7,2,3 SNI 2847-2019 ; hal 126)}$$

Diambil  $s = 150 \text{ mm}$

$$Asp = \frac{1000}{s} \times \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{1000}{150} \times \frac{3,14 \cdot 13^2}{4} = 884,4 \text{ mm}^2$$

$$Asp > Ash \rightarrow 884,4 \text{ mm}^2 > 200 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Maka,  $\emptyset 13-150$  aman digunakan

- Tulangan Arah Y

$$dy = h - ts - \emptyset \text{ tul, lentur} - \frac{\emptyset \text{ tul, lentur}}{2} = 130 - 20 - 13 - \frac{13}{2} =$$

90,5 mm

$$Mnx = \frac{Mux}{\emptyset} = \frac{9,442,000}{0,9} = 10491111,1 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_{ny}}{b \cdot d x^2} = \frac{10491111,1}{1000 \cdot 90,5^2} = 1,281$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{420}{0,85 \cdot 30} = 16,471$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,471} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,471 \times 1,281}{420}} \right) = 0,0031$$

Karena :  $f_y \geq 420 \text{ MPa} \rightarrow \rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y}$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} = 0,0018 \text{ atau } 0,0014$$

Diambil nilai  $\rho_{min}$  yang terbesar yaitu 0,0031

$$A_{sh} = \rho \cdot b \cdot d_y = 0,0031 \times 1000 \times 90,5 = 280,55 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}^2$$

$s < 3h$  atau 450 mm

$$\rightarrow 3h = 3(130) = 390 \text{ mm (7,7,2,3 SNI 2847-2019 ; hal 126)}$$

Diambil  $s = 150 \text{ mm}$

$$A_{sp} = \frac{1000}{s} \times \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{1000}{150} \times \frac{3,14 \cdot 13^2}{4} = 884,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{sp} > A_{sh} \rightarrow 884,4 \text{ mm}^2 > 300 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Maka,  $\emptyset 13-150$  aman digunakan

- Tulangan Susut

$$d_{susut} = h - t_s - \frac{\emptyset_{tul,susut}}{2} = 130 - 20 - \frac{10}{2} = 105 \text{ mm}$$

$$\text{Karena : } f_y \geq 280 \text{ MPa} \rightarrow \rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} = \frac{0,0018 \times 420}{280} =$$

0,0027 atau 0,0014

Diambil nilai  $\rho_{min}$  yang terbesar yaitu 0,0027

$$A_{sh} = \rho \cdot b \cdot d_y = 0,0027 \times 1000 \times 105 = 283,5 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}^2$$

$s < 5h$  atau 450 mm  $\rightarrow 5h = 5(130) = 650 \text{ mm (24,4,3,3 SNI 2847-2019 ; hal 553)}$

Diambil  $s = 150 \text{ mm}$

$$A_{sp} = \frac{1000}{s} \times \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{1000}{150} \times \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = 523,3 \text{ mm}^2$$

$$A_{sp} > A_{sh} \rightarrow 523,3 \text{ mm}^2 > 300 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Maka, Ø10-150 aman digunakan

## 2.9.6 Rekap Penulangan

Dari hasil perhitungan penulangan tangga diatas didapatkan rekap penulangan.

Tabel 2. 19 Rekap Penulangan Pelat Lantai

Tulangan Lentur	D13 - 150
Tulangan Susut	D10 - 150

## 2.10 Perencanaan Balok

### 2.10.1 Identifikasi Balok

Balok induk B2 elevasi ± 4,50 m

Balok induk yang ditinjau dengan:

Bentang total (l) = 8000 mm

Lebar balok (b) = 400 mm

Tinggi balok (h) = 600 mm

Panjang tumpuan =  $2h = 2(600) = 1200$  mm

Selimut beton = 40 mm

Tulangan longitudinal = 22 mm

Tulangan transversal = 13 mm

Tulangan sengkang = 10 mm

Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 MPa

Mutu baja longitudinal ( $f_y$ ) = 420 MPa

Mutu baja transversal ( $f_{yt}$ ) = 420 MPa

$\beta_1$  = 0,84 → persamaan b), tabel 22.2.2.4.3 SNI 2847:2019

Panjang kolom C1 = 600 mm

Panjang kolom C2 = 600 mm

Bentang bersih ( $l_n$ ) =  $L - C1 = 6000 - 600 = 7400$  mm

$\lambda$  = 1 (asumsi tidak menggunakan beton ringan)

Berdasarkan analisis struktur program MIDAS GEN didapatkan gaya dalam balok seperti pada tabel berikut:

Tabel 2. 20 Gaya Dalam Untuk Merancang Tulangan Tumpuan Dan Lapangan Balok

Gaya	Lokasi	
	Tumpuan	Lapangan
$M_u^-$ (kNm)	559,9	90
$M_u^+$ (kNm)	181	383,8
$V_u$ (kN)	276,6	195,6
$P_u$ (kN)	637,57	

Tabel gaya-gaya dalam digunakan merancang kebutuhan tulangan utama pada tumpuan dan lapangan balok.

### 2.10.2 Periksa Ketentuan Balok

Perhitungan balok menggunakan syarat – syarat dari SNI 2847:2019. Berdasarkan SNI 2847:2019 Ps 18.6.2.1, komponen struktur lentur rangka pemikul momen khusus memenuhi syarat sebagai berikut:

Gaya aksial terfaktor  $P_u$  tidak boleh melebihi  $A_g f'c/10$

$$\begin{aligned} A_g &= bh \\ &= 400 \cdot 600 \\ &= 240000 \text{ mm}^2 \\ A_g f'c/10 &= 240000 \cdot 30/10 \\ &= 720000 \text{ N} \\ &= 720 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis MIDAS GEN nilai  $P_u = 637,57$  kN, maka  $P_u < A_g f'c/10$ .

- a. Bentang bersih untuk komponen struktur,  $l_n$  tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.

$$l_n \geq 4d$$

$$7400 \geq 4(539)$$

$$7400 \text{ mm} \geq 2156 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK !}$$

- c. Lebar komponen,  $b_w$  tidak boleh kurang dari  $0,3h$  dan  $250 \text{ mm}$ .

$$400 \text{ mm} > 0,3(600)$$

$$400 \text{ mm} > 180 \text{ mm dan}$$

$$400 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK !}$$

- d. Lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari  $C_2$  dan  $0,75C_1$  pada masing-masing sisi kolom.

$$400 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK !}$$

$$400 \text{ mm} \leq 0,75(600) \text{ mm}$$

$$400 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK !}$$

### 2.10.3 Perancangan Tulangan Longitudinal

#### 1. Tulangan Tarik Tumpuan

$$M_u = 559,9 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b w d^2} = \frac{559,9 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 539^2} = 5,353$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{\frac{2(k)}{0,85 f_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left( 1 - \sqrt{\frac{2(5,353)}{0,85 \cdot 30}} \right)$$

$$= 0,0145$$

$$\rho_{maks} = 0,025$$

$$A_s = \rho \cdot b w \cdot d$$

$$= 0,0145 \cdot 400 \cdot 539$$

$$= 3119,88 \text{ mm}^2$$



As harus tidak boleh kurang dari As min di bawah:

$$As_{\min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4f_y} \cdot bw \cdot d = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 420} \cdot 400 \cdot 539 = 702,91 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \cdot bw \cdot d = \frac{1,4}{420} \cdot 400 \cdot 539 = 718,67 \text{ mm}^2$$

$As \geq As_{\min} \rightarrow \text{OK!}$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tulangan (n)} &= \frac{A_{st}}{\frac{1}{4}\pi d^2} \\ &= \frac{3119,88}{\frac{1}{4}\pi(22)^2} \\ &= 8,207 \approx 9 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

$$\text{Digunakan 9D22} \rightarrow As_{\text{use}} = n \frac{\pi(D_{tul})^2}{4} = 9 \frac{\pi(22)^2}{4} = 3421,19 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 9D22 ( $As = 3421,19 \text{ mm}^2$ )

- Cek spasi tulangan

#### Cek spasi minimum tulangan

Jika tulangan dirangkai dalam 1 lapis

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2 \times d_{sengkang} - n \times D_{tul}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 9 \times 22}{9-1} \\ &= 10,33 \text{ mm} < S_{\min} = 25 \text{ mm} \dots \text{not OK!} \end{aligned}$$

Karena jarak spasi tidak terpenuhi, spasi dibuat 2 lapis 5 di lapis atas dan 4 di lapis bawah sehingga didapatkan spasi sebesar

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2 \times d_{sengkang} - n \times D_{tul}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{5-1} \\ &= 37 \text{ mm} > S_{\min} = 25 \text{ mm} \dots \text{OK!} \end{aligned}$$

Maka spasi minimum tulangan sudah terpenuhi

#### Cek spasi maksimum tulangan

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \cdot 420 = 280 \text{ Mpa}$$

$$s_{\max} = \begin{cases} \leq 380 \frac{280}{f_s} - 2,5C_c = 255 \text{ mm} \\ \leq 300 \frac{280}{f_s} = 300 \text{ mm} \end{cases}$$

Karena  $s_1 = 37 \text{ mm} < s_{\max} = 255 \text{ mm} \dots \text{OK!}$

- Periksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\epsilon_t$  dan  $\emptyset$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{3421,19 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 140,87 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{140,87}{0,84} = 168,57 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = 0,003 \cdot \frac{d-c}{c} = 0,003 \cdot \frac{539-168,57}{168,57} = 0,0066$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 0,9 \cdot 3421,19 \cdot 420 \cdot \left(539 - \frac{140,87}{2}\right) = 605,95 \text{ kNm}$$

Karena  $\phi M_n = 605,95 \text{ kNm} > M_u = 559,9 \text{ kNm}$ , maka balok mampu menahan beban ultimit.

## **2. Tulangan Tekan Tumpuan**

$$M_u^+ \text{ tump} = 181 \text{ kNm}$$

$$0,5 M_u^- \text{ tump} = 0,5(559,9 \text{ kNm})$$

$$= 279,95 \text{ kNm}$$

Berdasarkan hitungan di atas  $0,5 M_u^- \text{ tump}$  kurang dari  $M_u^+ \text{ tump}$  maka nilai momen yang digunakan dalam perhitungan tulangan tekan tumpuan selanjutnya digunakan 279,95 kNm.

$$M_u = 279,95 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{Mu}{\phi b w d^2} = \frac{279,95 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 539^2} = 2,677$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{\frac{2(k)}{0,85 f_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left( 1 - \sqrt{\frac{2(2,677)}{0,85 \cdot 30}} \right)$$

$$= 0,0067$$

$$\rho_{maks} = 0,025$$

$$A_s = \rho \cdot b w \cdot d$$

$$= 0,0067 \cdot 400 \cdot 539$$

$$= 1454,89 \text{ mm}^2$$

As harus tidak boleh kurang dari As min di bawah:

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} \cdot b w \cdot d = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 420} \cdot 400 \cdot 539 = 702,91 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b w \cdot d = \frac{1,4}{420} \cdot 400 \cdot 539 = 718,67 \text{ mm}^2$$

$A_s \geq A_{s \text{ min}} \rightarrow \text{OK!}$

$$\text{Kebutuhan tulangan (n)} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

$$= \frac{1454,89}{\frac{1}{4} \pi (22)^2}$$

$$= 3,827 \approx 4 \text{ tulangan}$$

$$\text{Digunakan 4D22} \rightarrow A_{s \text{ use}} = n \frac{\pi (D_{tul})^2}{4} = 4 \frac{\pi (22)^2}{4} = 1520,53 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 4D22 ( $A_s = 1520,53 \text{ mm}^2$ )

- Cek spasi tulangan

Cek spasi minimum tulangan

Jika tulangan dirangkai dalam 1 lapis

$$s_1 = \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2 \times d_{\text{senggang}} - n \times D_{\text{tul}}}{n-1}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 22}{4-1}$$

$$= 52 \text{ mm} > s_{\text{min}} = 25 \text{ mm} \dots \text{OK!}$$

Maka spasi minimum tulangan sudah terpenuhi

Cek spasi maksimum tulangan

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \cdot 420 = 280 \text{ Mpa}$$

$$s_{\text{max}} = \begin{cases} \leq 380 \frac{280}{f_s} - 2,5 C_c = 255 \text{ mm} \\ \leq 300 \frac{280}{f_s} = 300 \text{ mm} \end{cases}$$

Karena  $s_1 = 52 \text{ mm} < s_{\text{max}} = 255 \text{ mm} \dots \text{OK!}$

- Periksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\epsilon_t$  dan  $\phi$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{1520,53 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 62,61 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{62,61}{0,84} = 74,92 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = 0,003 \cdot \frac{d-c}{c} = 0,003 \cdot \frac{539-74,92}{74,92} = 0,019$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 0,9 \cdot 1520,53 \cdot 420 \cdot \left(539 - \frac{62,61}{2}\right) = 291,803 \text{ kNm}$$

Karena  $\phi M_n = 291,803 \text{ kNm} > M_u = 279,95 \text{ kNm}$ , maka balok mampu menahan beban ultimit.

### 3. Tulangan Tarik Lapangan

$$M_u^+ \text{ lapangan} = 383,8 \text{ kNm}$$

$$0,25 M_u^- \text{ tump} = 0,25(559,9 \text{ kNm})$$

$$= 139,98 \text{ kNm}$$

Berdasarkan hitungan di atas  $0,25 Mu^-_{tump}$  kurang dari  $Mu^+_{lapangan}$  maka nilai momen yang digunakan dalam perhitungan tulangan tekan tumpuan selanjutnya digunakan 383,8 kNm.

$$Mu = 383,8 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{Mu}{\phi b w d^2} = \frac{383,8 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 539^2} = 3,669$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{\frac{2(k)}{0,85 f_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left( 1 - \sqrt{\frac{2(3,669)}{0,85 \cdot 30}} \right)$$

$$= 0,0098$$

$$\rho_{maks} = 0,025$$

$$As = \rho \cdot bw \cdot d$$

$$= 0,0098 \cdot 400 \cdot 539$$

$$= 2043,22 \text{ mm}^2$$

As harus tidak boleh kurang dari As min di bawah:

$$As \text{ min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} \cdot bw \cdot d = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 420} \cdot 400 \cdot 539 = 702,91 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} \cdot bw \cdot d = \frac{1,4}{420} \cdot 400 \cdot 539 = 718,67 \text{ mm}^2$$

$As \geq As \text{ min} \rightarrow \text{OK!}$

$$\text{Kebutuhan tulangan (n)} = \frac{As_t}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

$$= \frac{2043,22}{\frac{1}{4} \pi (22)^2}$$

$$= 5,375 \approx 6 \text{ tulangan}$$

Digunakan 6D22  $\rightarrow A_s.use = n \frac{\pi(D_{tul})^2}{4} = 6 \frac{\pi(22)^2}{4} = 2280,79 \text{ mm}^2$

Maka digunakan tulangan 6D22 ( $A_s = 2280,79 \text{ mm}^2$ )

- Cek spasi tulangan

Cek spasi minimum tulangan

Jika tulangan dirangkai dalam 1 lapis

$$s_1 = \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2 \times d_{senggang} - n \times D_{tul}}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 6 \times 22}{6 - 1}$$

$$= 27 \text{ mm} > s_{min} = 25 \text{ mm} \dots \text{OK!}$$

Maka spasi minimum tulangan sudah terpenuhi

Cek spasi maksimum tulangan

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \cdot 420 = 280 \text{ Mpa}$$

$$s_{max} = \begin{cases} \leq 380 \frac{280}{f_s} - 2,5 C_c = 255 \text{ mm} \\ \leq 300 \frac{280}{f_s} = 300 \text{ mm} \end{cases}$$

Karena  $s_1 = 27 \text{ mm} < s_{max} = 255 \text{ mm} \dots \text{OK!}$

- Periksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\epsilon_t$  dan  $\emptyset$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{2280,79 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 93,92 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{93,92}{0,84} = 112,38 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = 0,003 \cdot \frac{d - c}{c} = 0,003 \cdot \frac{539 - 112,38}{112,38} = 0,011$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 0,9 \cdot 2280,79 \cdot 420 \cdot \left(539 - \frac{93,92}{2}\right) = 424,21 \text{ kNm}$$

Karena  $\phi M_n = 424,21 \text{ kNm} > M_u = 383,8 \text{ kNm}$  , maka balok mampu menahan beban ultimit.

#### 4. Tulangan Tekan Lapangan

$$M_u^{-\text{lapangan}} = 90 \text{ kNm}$$

$$0,25 M_u^{-\text{tump}} = 0,25(559,9 \text{ kNm})$$

$$= 139,98 \text{ kNm}$$

Berdasarkan hitungan di atas  $0,25 M_u^{-\text{tump}}$  lebih besar dari  $M_u^{-\text{lapangan}}$  maka nilai momen yang digunakan dalam perhitungan tulangan tekan tumpuan selanjutnya digunakan 139,98 kNm.

$$M_u = 139,98 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b w d^2} = \frac{139,98 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 539^2} = 1,338$$

$$\rho = \frac{0,85 f_{c'} }{f_y} \left( 1 - \sqrt{\frac{2(k)}{0,85 f_{c'} }} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left( 1 - \sqrt{\frac{2(1,338)}{0,85 \cdot 30}} \right)$$

$$= 0,0033$$

$$\rho_{maks} = 0,025$$

$$A_s = \rho \cdot b w \cdot d$$

$$= 0,0033 \cdot 400 \cdot 539$$

$$= 706,06 \text{ mm}^2$$

$A_s$  harus tidak boleh kurang dari  $A_s$  min di bawah:

$$A_s \text{ min} = \frac{\sqrt{f_{c'}}}{4 f_y} \cdot b w \cdot d = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 420} \cdot 400 \cdot 539 = 702,91 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b w \cdot d = \frac{1,4}{420} \cdot 400 \cdot 539 = 718,67 \text{ mm}^2$$

$A_s \geq A_{s \text{ min}} \rightarrow \text{OK!}$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tulangan (n)} &= \frac{A_{st}}{\frac{1}{4}\pi d^2} \\ &= \frac{706,06}{\frac{1}{4}\pi(22)^2} \\ &= 1,857 \approx 2 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

Digunakan 2D22  $\rightarrow A_{s \text{ use}} = n \frac{\pi(D_{tul})^2}{4} = 2 \frac{\pi(22)^2}{4} = 760,265 \text{ mm}^2$

Maka digunakan tulangan 2D22 ( $A_s = 760,265 \text{ mm}^2$ )

- Cek spasi tulangan

Cek spasi minimum tulangan

Jika tulangan dirangkai dalam 1 lapis

$$\begin{aligned} s_1 &= \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2 \times d_{senggang} - n \times D_{tul}}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 2 \times 22}{2 - 1} \\ &= 127 \text{ mm} > s_{\text{min}} = 25 \text{ mm} \dots \text{OK!} \end{aligned}$$

Maka spasi minimum tulangan sudah terpenuhi

Cek spasi maksimum tulangan

$$\begin{aligned} f_s &= \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \cdot 420 = 280 \text{ Mpa} \\ s_{\text{max}} &= \begin{cases} \leq 380 \frac{280}{f_s} - 2,5C_c = 255 \text{ mm} \\ \leq 300 \frac{280}{f_s} = 300 \text{ mm} \end{cases} \end{aligned}$$

Karena  $s_1 = 127 \text{ mm} < s_{\text{max}} = 255 \text{ mm} \dots \text{OK!}$

- Periksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\epsilon_t$  dan  $\emptyset$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{760,265 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 31,31 \text{ mm}$$



$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{93,92}{0,84} = 37,46 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = 0,003 \cdot \frac{d-c}{c} = 0,003 \cdot \frac{539-37,46}{37,46} = 0,0402$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 0,9 \cdot 760,265 \cdot 420 \cdot \left(539 - \frac{31,31}{2}\right) = 150,399 \text{ kNm}$$

Karena  $\phi M_n = 150,399 \text{ kNm} > M_u = 139,98 \text{ kNm}$  , maka balok mampu menahan beban ultimit.

## 2.10.4 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Geser

### 1. Tulangan Geser Tumpuan

Gaya Dalam

$$V_u, \text{ tumpuan} = 276,6 \text{ kN} = 276600 \text{ N}$$

$$V_u, \text{ lapangan} = 195,6 \text{ kN} = 195600 \text{ N}$$

$$V_g, \text{ tumpuan} = 163,8 \text{ kN} = 163800 \text{ N}$$

Sesuai SNI 2847:2019 R18.6.5 didapatkan dari input kombinasi 1,2D + L dari MIDAS.

Karena kekuatan leleh aktual pada tulangan longitudinal dapat melebihi kekuatan leleh yang diisyaratkan dan karena pengerasan regangan cenderung terjadi pada suatu joint karena terkena rotasi yang besar, maka menurut SNI 2847:2019 Ps. 18.6.5.1, kekuatan geser perlu ditentukan menggunakan tegangan tidak kurang dari  $1,25f_y$  tulangan longitudinal.

- Hitung Momen Probabilitas Positif ( $MPr^+$ )

$MPr^+$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 9D22

$$Apr^+ = 1,25 \cdot a_{\text{tumpuan positif}} = 1,25 \cdot 140,87 = 176,09 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} MPr^+ &= A_s^+ (1,25f_y) \left(d - \frac{Apr^+}{2}\right) \\ &= 3421,19 \times 1,25 \times 420 \times \left(539 - \frac{176,09}{2}\right) \end{aligned}$$

$$= 809971680,6 \text{ Nmm}$$

- Hitung Momen Probabilitas Negatif ( $MPr^-$ )

$MPr^-$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 4D22

$$Apr^- = 1,25 \cdot a_{tumpuan \text{ negatif}} = 1,25 \cdot 62,61 = 78,26 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} MPr^- &= A_s^- (1,25 f_y) \left( d - \frac{Apr^-}{2} \right) \\ &= 1520,53 \times 1,25 \times 420 \times \left( 539 - \frac{78,26}{2} \right) \\ &= 399034525,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Gaya Geser Desain

$$V_{pr} = \frac{MPr^+ + MPr^-}{ln} = \frac{809971680,6 + 399034525,9}{7,4} = 163379,22 \text{ N}$$

$$V_e = V_g + V_{pr} = 163800 + 163379,22 = 327179,22 \text{ N}$$

- Tahanan Geser Beton

Tulangan transversal sepanjang daerah yang diidentifikasi dalam 18.6.4.1 harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  jika kedua a) dan b) terpenuhi:

- a) Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai 18.6.5.1 mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.

$$V_{pr} > 1/2 V_e$$

$$163379,22 \text{ N} < 1/2 (327179,22 \text{ N})$$

$$163379,22 \text{ N} < 163589,61 \text{ N}$$

- b) Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f_c'/20$

$$P_u < A_g f_c'/20$$

$$637570 \text{ N} < \frac{400 \cdot 600 \cdot 30}{20}$$

$$637570 \text{ N} < 360000 \text{ N}$$

Karena syarat a) memenuhi dan syarat b) tidak memenuhi, maka  $V_c$  diperhitungkan

$$\begin{aligned} V_c &= 0,017 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,017 \times \sqrt{30} \times 400 \times 539 \\ &= 200751,27 \text{ N} \end{aligned}$$

- Penulangan Geser Tumpuan

Diasumsikan jumlah kaki = 4

$$A_v = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times ds^2 = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 314,16 \text{ mm}^2$$

Asumsi spasi = 100 mm

Cek syarat sesuai SNI 2847:2019 Ps 18.6.4.4 spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) hingga c):

a)  $S_{\max 1} = d/4 = 539/4 = 134,75 \text{ mm}$

b)  $S_{\max 2} = 6db = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$

c)  $S_{\max 3} = 150 \text{ mm}$

Maka asumsi spasi telah memenuhi syarat.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{s} = \frac{314,16 \cdot 420 \cdot 539}{100} = 711193,75 \text{ N}$$

$$\text{Batas } V_s = 0,66 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d = 0,66 \times \sqrt{30} \times 400 \times 539 = 779387,29 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 Ps 12.5.3.2, 21.2.4}$$

$$V_n = V_c + V_s = 200751,27 + 711193,75 = 911945,02 \text{ N}$$

$$V_u = V_e = 327179,22 \text{ N}$$

$$\frac{\phi V_n}{V_u} = \frac{0,75 \cdot 911945,02}{327179,22} = 2,09$$

Karena  $\frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1$  maka kapasitas terpenuhi.

## 2. Tulangan Geser Lapangan

- Penulangan Geser Lapangan

Diasumsikan jumlah kaki = 2

$$A_v = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Asumsi spasi = 150 mm

Cek syarat sesuai SNI 2847:2019 Ps 18.6.4.6 bila sengkang pengegang tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang bentang balok.

$$S_{\max} = d/2 = 539/2 = 269,5 \text{ mm}$$

Maka asumsi spasi telah memenuhi syarat.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{s} = \frac{157,080 \cdot 420 \cdot 539}{100} = 237064,58 \text{ N}$$

$$\text{Batas } V_s = 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d = 0,66 \times \sqrt{30} \times 400 \times 539 = 779387,29 \text{ N}$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d = 0,17 \times \sqrt{30} \times 400 \times 539 = 200751,27 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 Ps 12.5.3.2, 21.2.4}$$

$$V_n = V_c + V_s = 200751,27 + 237064,58 = 437815,85 \text{ N}$$

$$V_u = V_e = 195600 \text{ N}$$

$$\frac{\phi V_n}{V_u} = \frac{0,75 \cdot 437815,85}{195600} = 1,679$$

Karena  $\frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1$  maka kapasitas terpenuhi.

### 2.10.5 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Torsi

$$T_u = 17,8 \text{ kNm}$$

- Parameter Geometri Penampang Untuk Perhitungan Torsi

$$A_{cp} = 400 \times 600 = 240000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (400 + 600) = 2000 \text{ mm}$$

$$x_1 = 400 - 2 \left( 40 + \frac{10}{2} \right) = 310 \text{ mm}$$

$$y_1 = 600 - 2 \left( 40 + \frac{10}{2} \right) = 510 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = 310 \times 510 = 158100 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 158100 = 134385 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2(x_1 + y_1) = 2(310 + 510) = 1640 \text{ mm}$$

$$F_y/f_y = 420/420 = 1$$

$$\theta = 45^\circ$$

- Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

$$T_{cr} = \frac{0,33 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}^2}{P_{cp}} = \frac{0,33 \times \sqrt{30} \times 240000^2}{2000} = 52055551,87 \text{ Nmm}$$

$$\phi = 0,75 \rightarrow \text{Tabel 21.2.1 SNI 2847:2019}$$

$$\frac{\phi T_{cr}}{4} = \frac{0,75 \cdot 52055551,87}{4} = 9760416,97 \text{ Nmm}$$

Menurut tabel 22.7.4.1 SNI 2847:2019,  $T_u > \frac{\phi T_{cr}}{4}$  maka diperlukan tulangan torsi

- Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

$$T_u \text{ pakai} = 53600000 \text{ N}$$

$$V_u = 327179,22 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 539 \\ &= 200751,27 \text{ N} \end{aligned}$$

Tegangan ultimit torsi  $\leq$  Kapasitas tegangan beton

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

$$\sqrt{\left(\frac{432816}{400 \times 539}\right)^2 + \left(\frac{17,8 \times 10^6 \times 1640}{1,7 \times 158100^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{432816}{400 \times 539} + 0,66 \sqrt{30}\right)$$

$$2,122 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 3,410 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$\rightarrow$  Dimensi penampang memenuhi persyaratan.

- Penulangan Transversal Torsi

$$n \text{ kaki tumpuan} = 4$$

$$n \text{ kaki lapangan} = 2$$

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

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

Menurut Ps 9.7.6.3.3, syarat spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi:

a)  $Ph/8 = 1640/8 = 205 \text{ mm}$

b)  $300 \text{ mm}$

Maka asumsi spasi tumpuan dan lapangan memenuhi syarat.

$$\frac{A_{v+t}}{s} \text{ tumpuan pasang} = \frac{n \times \frac{1}{4} \times \pi \times ds^2}{s} = \frac{4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2}{s} = 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{v+t}}{s} \text{ lapangan pasang} = \frac{n \times \frac{1}{4} \times \pi \times ds^2}{s} = \frac{2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2}{s} = 1,047 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2A_o f_{yt} \phi} = \frac{53600000}{2 \cdot 134385 \cdot 420 \cdot 0,75} = 0,461 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_v}{s} \text{ tumpuan perlu} = \frac{\frac{V_u \text{ tumpuan}}{\phi - V_c}}{f_{yt} \cdot d} = \frac{\frac{327179,21}{0,75 - 200751,27}}{420 \cdot 539} = 1,0402 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_v}{s} \text{ lapangan perlu} = \frac{\frac{V_u \text{ lapangan}}{\phi - V_c}}{f_{yt} \cdot d} = \frac{\frac{195600}{0,75 - 200751,27}}{420 \cdot 539} = 0,265 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{v+t}}{s} \text{ tumpuan perlu} = 2 \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 2(0,461) + 1,0402 = 0,959$$

$$\frac{A_{v+t}}{s} \text{ lapangan perlu} = 2 \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 2(0,461) + 0,265 = 0,245$$

$$\frac{A_{v+t}}{s} \text{ min1} = 0,062 \sqrt{f'c} \frac{b}{f_{yt}} = 0,062 \sqrt{30} \frac{400}{420} = 0,323$$

$$\frac{A_{v+t}}{s} \text{ min2} = 0,35 \frac{b}{f_{yt}} = 0,35 \frac{400}{420} = 0,333$$

Cek geser + torsi tumpuan

$$\frac{A_{v+t}}{s} \text{ tumpuan pasang} \geq \frac{A_{v+t}}{s} \text{ tumpuan perlu} \quad \text{dan} \quad \frac{A_{v+t}}{s} \text{ min} \rightarrow OK$$

Cek geser + torsi lapangan

$$\frac{A_{v+t}}{S \text{ lapangan pasang}} \geq \frac{A_{v+t}}{S \text{ lapangan perlu}} \quad \text{dan} \quad \frac{A_{v+t}}{S} \text{ min} \rightarrow \text{OK}$$

- Penulangan Longitudinal Torsi

Sesuai SNI 2847:2019 Ps 9.7.5.2, tulangan torsi longitudinal harus ,memiliki diameter sekurang-kurangnya 0,042 kali spasi tulangan transversal, tapi tidak kurang dari 10 mm.

D tul. Torsi = 13 mm

$$0,042 s = 0,042 \times 150 \text{ mm} = 6,3 \text{ mm}$$

db  $\geq$  db min, maka tulangan memenuhi syarat.

$$A_s \text{ perlu tumpuan atas} = 2845,08 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan bawah} = 1312,89 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan atas} = 1857,18 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan bawah} = 636,81 \text{ mm}^2$$

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h = 0,461 \cdot 1640 = 756,28 \text{ mm}^2$$

$$A_{l,min} = \frac{0,42 \sqrt{f_c'} A_{cp}}{f_y} - \frac{A_t}{s} P_h = \frac{0,42 \sqrt{30} (240000)}{420} - (0,461)(1640) \\ = 558,26 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Tumpuan} = 756,27 + 2845,07 + 1312,89 = 4914,23 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tumpuan atas} = 9$$

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

$$n \text{ tumpuan bawah} = 4$$

$$n \text{ tumpuan vertikal} = 2 + (2/2) = 3$$

$$\text{spasi horizontal tumpuan} = \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 22}{4 - 1} = 92,67 \text{ mm}$$

$$\text{spasi vertikal tumpuan} = \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n \text{ vertikal} - 1} = \frac{600 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 22}{3 - 1} = 239 \text{ mm}$$

Cek spasi tulangan longitudinal tumpuan menurut Ps 11.5.6.2

$$s \leq 300 \text{ mm}$$

$$239 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$\text{As+A1 pasang tumpuan} = ((n. \text{ atas} + n. \text{ bawah}) \times \frac{\pi}{4} \times db^2) + (n. \text{ tengah} \times \frac{\pi}{4} \times dbt^2)$$

$$= ((9+4) \times \frac{\pi}{4} \times 22^2) + (2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2)$$

$$= 5207,19 \text{ mm}^2$$

Cek lentur + torsi tumpuan

$$\text{As+A1 pasang tumpuan} \geq \text{As} + \text{A1 Perlu Tumpuan} \rightarrow \text{OK!}$$

$$\text{As} + \text{A1 Perlu Lapangan} = 756,28 + 1857,18 + 636,81 = 3250,26 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ lapangan atas} = 6$$

$$n \text{ lapangan tengah} = 2 \text{ (asumsi)}$$

$$n \text{ lapangan bawah} = 2$$

$$n \text{ lapangan vertikal} = 2 + (2/2) = 3$$

$$\text{spasi horizontal lapangan} = \frac{b - 2Cc - 2ds - db}{\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 22}{2 - 1} = 278 \text{ mm}$$

$$\text{spasi vertikal lapangan} = \frac{h - 2Cc - 2ds - db}{n \text{ vertikal} - 1} = \frac{600 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 22}{3 - 1} = 239 \text{ mm}$$

cek spasi tulangan longitudinal lapangan menurut Ps 11.5.6.2

$$s \leq 300 \text{ mm}$$

$$278 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$\text{As+A1 pasang lapangan} = ((n. \text{ atas} + n. \text{ bawah}) \times \frac{\pi}{4} \times db^2) + (n. \text{ tengah} \times \frac{\pi}{4} \times dbt^2)$$

$$= ((6+2) \times \frac{\pi}{4} \times 22^2) + (2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2)$$



$$= 3306,53 \text{ mm}^2$$

Cek lentur + torsi lapangan

As+A1 pasang lapangan  $\geq$  As + A1 perlu lapangan  $\rightarrow$  OK!

### 2.10.6 Cek Syarat Perencanaan

Tabel 2. 21 Cek Syarat Perencanaan Balok

Syarat Gaya dan Geometri	Tidak dipersyaratkan. Baca R18.6.1 dan 18.6.4.7	OK
Kapasitas Lentur	18.6.2.1	OK
Kapasitas Geser	18.6.2.1	OK
Kapasitas Torsi	18.6.2.1	OK

### 2.10.7 Rekap Penulangan Balok

Dari hasil perhitungan penulangan balok diatas didapatkan rekap penulangan.

Tabel 2. 22 Rekap Penulangan Balok

Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	9 D22
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D13
Longitudinal Tumpuan Bawah	4 D22
Longitudinal Lapangan Atas	2 D22
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D13
Longitudinal Lapangan Bawah	6 D22
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	4D10-100
Sengkang Lapangan	2D10-150

## 2.11 Perencanaan Kolom

### 2.11.1 Data-data perencanaan:

Tinggi kolom ( $l$ ) = 4000 mm

Sisi pendek kolom ( $b$ ) = 600 mm

Sisi panjang kolom ( $l$ ) = 600 mm

Tul. Longitudinal ( $d_b$ ) = 25 mm

Tul. Sengkang ( $d_s$ ) = 13 mm

Selimit beton ( $C_c$ ) = 40 mm

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 30 MPa

Mutu baja longitudinal ( $f_y$ ) = 420 MPa

Mutu baja transversal ( $f_{yt}$ ) = 420 MPa

Tinggi balok ( $h_b$ ) = 600 mm

Tinggi kolom bersih ( $l_n$ ) =  $L - h_b = 4000 \text{ mm} - 600 \text{ mm} = 3400 \text{ mm}$

Hasil analisis SP Kolom:

$P_u$  design = 2819 kN

$M_{pr x} = \frac{\phi M_{nx}}{0,65} = \frac{402}{0,65} = 618,46 \text{ kNm}$

$M_{pr y} = \frac{\phi M_{ny}}{0,65} = \frac{549,4}{0,65} = 845,23 \text{ kNm}$

$V_u = 225 \text{ kN}$

### 2.11.2 Perhitungan Tulangan Kolom

#### 1. Tulangan Longitudinal Kolom

1) Kontrol dimensi sesuai SNI 2847:2019 Ps. 18.7.2.1. Persyaratan Batas

Dimensi Kolom harus terpenuhi:

- a. Kontrol Dimensi Sesuai SNI 2847:2019 Ps. 18.6.4.7 Persyaratan batas dimensi untuk kolom harus terpenuhi:

Gaya aksial terfaktor  $P_u$  harus lebih besar dari  $A_g f_c' / 10$

$$\text{Luas bruto kolom } A_g = 600 \times 600 = 360000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_g f_c' / 10 &= (360000 \times 30) / 10 \\ &= 1080000 \text{ N} = 1080 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_u \text{ design} = 2819 \text{ kN} > A_g f_c' / 10 = 1080 \text{ kN} \longrightarrow \text{OK!}$$

b. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.

$$\text{Sisi terpendek kolom} = 600 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

c. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

$$\text{Rasio antara } b \text{ dan } h = 600 \text{ mm} / 600 \text{ mm} = 1 > 0,4 \text{ (Memenuhi)}$$

2) Perhitungan Kebutuhan Tulangan Longitudinal

Kolom dengan sengkang ikat dan beban eksentrisitas kecil

7) Faktor reduksi kekuatan  $\phi = 0,65$

8) Faktor reduksi eksentrisitas kecil = 0,80

Persamaan kekuatan untuk menghitung kebutuhan tulangan

$$P_u = \phi P_{n,max}$$

$$P_u = 0,65 \{ 0,80 [ 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} ] \}$$

$$2819 \times 10^3 = 0,65 \{ 0,80 [ 0,85 \times 30 \times (360000 - A_{st}) + 420 \times A_{st} ] \}$$

$$2819000 = 4773600 + 205,14 A_{st}$$

$$A_{st} = 9528,13 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan } 20D25 = 20 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 = 9817,48 \text{ mm}^2$$

Sesuai SNI 2847:2019 Ps. 18.7.4.1, luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 0,01  $A_g$  atau lebih dari 0,06  $A_g$ .

$$0,01 A_g \leq A_{st} \leq 0,06 A_g$$

$$0,01 \times 600 \times 600 \leq 20 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 25^2 \leq 0,06 \times 600 \times 600$$

$$3600 \text{ mm}^2 \leq 9817,48 \text{ mm}^2 \leq 21600 \text{ mm}^2$$

Pemeriksaan Rasio Tulangan Pokok Terpasang

$$\rho = A_{st}/A_g = 9528,13/360000 = 0,02648$$

Cek syarat:

$$0,01 < \rho < 0,06$$

$$0,01 < 0,02648 < 0,06 \dots \text{OK!}$$

Spasi bersih tulangan:

$$S_1 = \frac{(b - 2 \times C_c - 2 \times D_{.seng} - n \times D_{.long})}{n - 1} = \frac{(600 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 6 \times 25)}{6 - 1} = 68,8 \text{ mm}$$

Syarat spasi minimum:

$$25 \text{ mm} < 68,8 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$35 \text{ mm} < 68,8 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

Syarat spasi maksimum:

$$68,8 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

### 3) Cek Persyaratan *Strong Column Weak Beam*

Sesuai dengan filosofi design kapasitas, maka SNI 2847:2019 Ps. 18.7.3.2 mensyaratkan bahwa:

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

#### a. Menentukan Nilai $\Sigma M_{nb}$

$$\text{Lebar balok (bw)} = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (hw)} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat (hf)} = 130 \text{ mm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 400 \text{ mm} + 8(130 \text{ mm}) = 1440 \text{ mm}$$

$$b_e = b_w + 8h_w = 400 \text{ mm} + 8(600 \text{ mm}) = 5200 \text{ mm}$$

$$\text{Dipilih yang terkecil, maka } b_e = 1440 \text{ mm}$$

As tulangan atas balok = 8D22 (3041,06 mm<sup>2</sup>)

As tulangan bawah balok = 4D22 (1520,53 mm<sup>2</sup>)

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot bw} = \frac{3041,06 \times 420}{0.85 \times 30 \times 400} = 156,53 \text{ mm}$$

$$Mnb- = As \cdot Fy \cdot (d - \frac{a}{2}) = 3041,06 \cdot 420 \cdot (539 - \frac{156,53}{2}) = 735,59 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot bw} = \frac{1520,53 \times 420}{0.85 \times 30 \times 400} = 78,26 \text{ mm}$$

$$Mnb+ = As \cdot Fy \cdot (d - \frac{a}{2}) = 1520,53 \cdot 420 \cdot (539 - \frac{78,26}{2}) = 399,03 \text{ kNm}$$

$$\Sigma Mnb = (Mnb-) + (Mnb+) = (735,59) + (399,03) = 1134,62 \text{ kNm}$$

$$(1,2)\Sigma Mnb = 1,2 \times 1134,62 \text{ kNm} = 1361,544 \text{ kNm}$$

b. Menentukan Nilai  $\Sigma Mnc$

Dari data SP kolom di dapatkan nilai Mnc kolom atas dan kolom bawah yakni:

$$\emptyset Mnc \text{ kolom bawah} = 583,9 \text{ kNm}$$

$$\emptyset = 0,65$$

$$Mnc = \frac{583,9}{0,65} = 898,308 \text{ kNm}$$

$$\Sigma Mnc = Mnc \text{ atas} + Mnc \text{ bawah}$$

$$= 898,308 + 898,308$$

$$= 1796,616 \text{ kNm}$$

Cek syarat:

$$\Sigma Mnc \geq 1,2 \Sigma Mnb$$

$$1796,616 \text{ kNm} \geq 1361,544 \text{ kNm}$$

Maka syarat *Strong Column Weak Beam* terpenuhi.

## 2. Tulangan Transversal Kolom

### 1) Panjang zona sendi plastis

Sesuai SNI 2847:2019 R18.7.5.1 panjang lo tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari a), b), dan c):

- Tinggi kolom pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur mungkin terjadi,  $h = 600 \text{ mm}$

b)  $1/6$  bentang bersih komponen struktur =  $1/6 \times (4000 - 600) = 566,67$  mm

c) 450 mm

Maka untuk jarak  $l_o$  (sendi plastis) digunakan 600 mm.

## 2) Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan

Diasumsikan:

Jumlah kaki sisi pendek,  $n_1 = 6$

Jumlah kaki sisi panjang,  $n_2 = 6$

Spasi,  $s = 75$  mm

Spasi kaki terbesar,  $x_{i \max} = 300$  mm

$$A_{sh1} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 = 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 796,394 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 = 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 796,394 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} 1 = \frac{796,394}{75} = 10,619 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} 2 = \frac{796,394}{75} = 10,619 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

## 3) Confinement/Kekekangan Zona Sendi Plastis

Sesuai SNI 2847:2019 R18.7.5.2, panjang dan lebar penampang inti beton sebagai berikut:

Lebar penampang inti beton,  $b_c = b - 2C_c = 600 - 2(40) = 520$  mm

Panjang penampang inti beton,  $h_c = b - 2C_c = 600 - 2(40) = 520$  mm

Luas penampang kolom,  $A_g = b \times h = 600 \times 600 = 360000$  mm<sup>2</sup>

Luas penampang inti beton,  $A_{ch} = b_c \times h_c = 520 \times 520 = 270400$  mm<sup>2</sup>

Sesuai 2847:2019 Ps. 18.7.5.4, cek apakah  $\frac{A_{sh1}}{s}$  lebih besar atau sama dengan dengan  $\frac{A_{sh}}{s}$  min untuk sisi pendek/sumbu lemah dan sisi panjang/sumbu kuat.

## 9) Sisi pendek/sumbu lemah

$$\frac{A_{sh1}}{s} = 0,3 \frac{b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$= 0,3 \frac{520 \cdot 30}{420} \left( \frac{360000}{270400} - 1 \right)$$

$$= 3,692 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{sh2}}{s} = 0,09 \frac{bc \cdot f_c'}{f_{yt}} = 0,09 \frac{520 \cdot 30}{420} = 3,343 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan  $\frac{A_{sh}}{s}$  terbesar yakni  $\frac{A_{sh1}}{s} = 3,692 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Maka,  $\frac{A_{sh}}{s} 1 = 10,619 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq \frac{A_{sh}}{s} \text{min} = 3,692 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow \text{OK}$

10) Sisi panjang/sumbu kuat

$$\frac{A_{sh1}}{s} = 0,3 \frac{bc \cdot f_c'}{f_{yt}} \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$= 0,3 \frac{520 \cdot 30}{420} \left( \frac{360000}{270400} - 1 \right)$$

$$= 3,692 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{sh2}}{s} = 0,09 \frac{bc \cdot f_c'}{f_{yt}} = 0,09 \frac{520 \cdot 30}{420} = 3,343 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan  $\frac{A_{sh}}{s}$  terbesar yakni  $\frac{A_{sh1}}{s} = 3,692 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Maka,  $\frac{A_{sh}}{s} 2 = 10,619 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq \frac{A_{sh}}{s} \text{min} = 3,692 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow \text{OK}$

Spasi maksimum,  $s_{max}$ , pada daerah sepanjang  $l_o$  dari ujung-ujung kolom.

Nilai  $s_{max}$  tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a), b) dan c). (SNI 2847:2019

Ps 18.7.5.3).

a) Seperempat dimensi terkecil penampang kolom =  $\frac{1}{4} \times 600 = 150 \text{ mm}$

b) Enam kali diameter tulangan longitudinal kecil =  $6D = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$

c)  $s_o$ , yang dihitung dengan

$$s_o = 100 + \frac{350 - hx}{3}$$

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

$$s_o = 100 + \frac{350 - 300}{3} = 116,67 \text{ mm}$$

Nilai  $s_o$   $116,67 \text{ mm} > 100 \text{ mm}$  dan  $116,67 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$ , maka nilai  $s_o$  memenuhi syarat.

Maka, didapatkan  $s_{max} = 116,67 \text{ mm}$ , sehingga spasi  $75 \text{ mm}$  memenuhi.

Digunakan 6D13 - 75

#### 4) Kuat Geser Zona Sendi Plastis

Gaya geser desain dari SP *Column*:

Tulangan transversal sebagai penahan gaya geser harus di desain dengan gaya geser desain  $V_e$  yang diatur dalam SNI 2847:2019 Ps.18.7.6.1 nilai  $V_e$  tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

$M_{pr}$  kolom dari output SP Kolom =  $590,34/0,65 = 908,22$  kNm

$$V_u = 2 \times \frac{M_{pr} \text{ kolom}}{l_n}$$

$$= 2 \times \frac{908,22 \times 10^6}{3400}$$

$$= 534247 \text{ N}$$

Gaya geser hasil analisis struktur (MIDAS GEN)

$V_{u2}$ , sumbu lemah = 499600 kN

$V_{u2}$ , sumbu kuat = 518600 kN

#### 11) Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

Maka digunakan  $V_u = 534247$  N yang merupakan nilai terbesar.

$\phi = 0,75 \rightarrow$  tabel 21.2.1 SNI 2847:2019

Menurut Ps. 22.5.6.1 SNI 2847:2019 nilai  $V_c$  yaitu:

$$V_c = 0,17 \frac{1+N_u}{14A_g} \sqrt{f_c'} \cdot h \cdot d$$

$$d = b - C_c - d_s - db/2 = 600 - 40 - 13 - 25/2 = 534,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,17 \frac{1+0,8}{14 \cdot 360000} \sqrt{30} \cdot 600 \cdot 534,5 = 298660 \text{ N}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{534247}{0,75} - 298660 = 413669 \text{ N}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ perlu}} = \frac{V_s}{f_y t \cdot d} = \frac{413669}{420 \cdot 534,5} = 1,8427 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min1}} = \frac{0,062(f_c')^{0,5} h}{f_y} = \frac{0,062(30)^{0,5} 600}{420} = 0,4851 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min2}} = \frac{0,35 h}{f_y} = \frac{0,35 \cdot 600}{420} = 0,5 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Cek } \frac{A_s}{s} > \frac{A_s}{s \text{ perlu}}, \frac{A_s}{s \text{ min1}}, \frac{A_s}{s \text{ min2}} \dots \text{OK!}$$

#### 12) Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u = 534247 \text{ N}$$



$\phi = 0,75 \rightarrow$  tabel 21.2.1 SNI 2847:2019

Menurut Ps. 22.5.6.1 SNI 2847:2019 nilai  $V_c$  yaitu:

$$V_c = 0,17 \frac{1+N_u}{14A_g} \sqrt{f_c'} \cdot h \cdot d$$

$$V_c = 0,17 \frac{1+0,8}{14 \cdot 360000} \sqrt{30} \cdot 600 \cdot 534,5 = 298660 \text{ N}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{534247}{0,75} - 298660 = 413669 \text{ N}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ perlu}} = \frac{V_s}{f_y t \cdot d} = \frac{413669}{420 \cdot 534,5} = 1,8427 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min1}} = \frac{0,062(f_c')^{0,5} h}{f_y} = \frac{0,062(30)^{0,5} 600}{420} = 0,4851 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min2}} = \frac{0,35 h}{f_y} = \frac{0,35 \cdot 600}{420} = 0,5 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Cek } \frac{A_s}{s} > \frac{A_s}{s \text{ perlu}}, \frac{A_s}{s \text{ min1}}, \frac{A_s}{s \text{ min2}} \dots \text{OK!}$$

5) Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan

Diasumsikan:

$$\text{Jumlah kaki sisi pendek, } n_1 = 4$$

$$\text{Jumlah kaki sisi panjang, } n_2 = 4$$

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

$$A_{v1} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

$$A_{v2} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

Sesuai SNI 2847:2019 Ps 18.7.5.5 di luar panjang  $l_o$  yang ditetapkan 18.7.5.1 harus lebih kecil dari a) dan b):

a) Spasi tidak melebihi  $6d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$

b) 150 mm

Digunakan spasi 150 mm, maka spasi aman karena tidak lebih dari syarat a) dan b).

6) Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis

- Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u = 499600 \text{ N}$$

$\phi = 0,75 \rightarrow$  tabel 21.2.1 SNI 2847:2019

Menurut Ps. 22.5.6.1 SNI 2847:2019 nilai  $V_c$  yaitu:

$$V_c = 0,17 \frac{1+N_u}{14A_g} \sqrt{f_c'} \cdot h \cdot d$$

$$d = b - C_c - d_s - db/2 = 600 - 40 - 13 - 25/2 = 534,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,17 \frac{1+0,8}{14 \cdot 360000} \sqrt{30} \cdot 600 \cdot 534,5 = 298660 \text{ N}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{499600}{0,75} - 298660 = 367515 \text{ N}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ perlu}} = \frac{V_s}{f_y t \cdot d} = \frac{367515}{420 \cdot 534,5} = 1,6371 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min1}} = \frac{0,062(f_c')^{0,5} h}{f_y} = \frac{0,062(30)^{0,5} \cdot 600}{420} = 0,485 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min2}} = \frac{0,35 h}{f_y} = \frac{0,35 \cdot 600}{420} = 0,5 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Cek } \frac{A_s}{s} > \frac{A_s}{s \text{ perlu}}, \frac{A_s}{s \text{ min1}}, \frac{A_s}{s \text{ min2}} \dots \text{OK!}$$

- **Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat**

$$V_u = 518600 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75 \rightarrow \text{tabel 21.2.1 SNI 2847:2019}$$

Menurut Ps. 22.5.6.1 SNI 2847:2019 nilai  $V_c$  yaitu:

$$V_c = 0,17 \frac{1+N_u}{14A_g} \sqrt{f_c'} \cdot h \cdot d$$

$$d = b - C_c - d_s - db/2 = 600 - 40 - 13 - 25/2 = 534,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,17 \frac{1+0,8}{14 \cdot 360000} \sqrt{30} \cdot 600 \cdot 534,5 = 298660 \text{ N}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{518600}{0,75} - 298660 = 392849 \text{ N}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ perlu}} = \frac{V_s}{f_y t \cdot d} = \frac{392849}{420 \cdot 534,5} = 1,75 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min1}} = \frac{0,062(f_c')^{0,5} h}{f_y} = \frac{0,062(30)^{0,5} \cdot 600}{420} = 0,485 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min2}} = \frac{0,35 h}{f_y} = \frac{0,35 \cdot 600}{420} = 0,5 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Cek } \frac{A_s}{s} > \frac{A_s}{s \text{ perlu}}, \frac{A_s}{s \text{ min1}}, \frac{A_s}{s \text{ min2}} \dots \text{OK!}$$

### 2.11.3 Cek Syarat Perencanaan

Tabel 2. 23 Cek Syarat Perencanaan Kolom

Syarat Gaya dan Geometri	OK
--------------------------	----


Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK

#### 2.11.4 Rekap Tulangan Kolom

Dari hasil perhitungan penulangan kolom diatas didapatkan rekap penulangan.

Tabel 2. 24 Rekap Tulangan Kolom

Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	20 D25
Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan	
Sumbu Lemah	6D13-75
Sumbu Kuat	6D13-75
Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	4D13-100
Sumbu Kuat	4D13-100

KOLOM	K1	
	600 X 600	
		
TULANGAN	20D 25	
	ATAS	D13-75
SENGKANG	TENGAH	D13-100
	BAWAH	

Gambar 2. 14 Detail Tulangan Kolom

## 2.12 Hubungan Balok Kolom

Hubungan Balok B2 dengan Kolom K1

$$M_{pr -} = 735,58 \text{ kNm}$$

$$M_{pr +} = 399,03 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_e &= 0,5 (M_{pr -} + M_{pr +}) \\ &= 0,5 (735,58 \text{ kNm} + 399,03 \text{ kNm}) \\ &= 567,305 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Geser pada kolom atas

$$V_u = \frac{735,58 + 399,03}{3,4} = 335,9639 \text{ kN}$$

Pada bagian atas balok, terpasang tulangan 8D22 ( $A_s = 3041,062 \text{ mm}^2$ ).

Gaya tarik yang terjadi pada tulangan balok bagian kiri sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \cdot f_y \cdot A_s \\ &= 1,25 \cdot 420 \cdot 3041,062 \\ &= 1596557,55 \text{ N} \\ &= 1596,557 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tekan yang terjadi kearah kiri:

$$C_1 = T_1 = 1596,557 \text{ kN}$$

Pada bagian bawah balok, terpasang tulangan 4D22 ( $A_s = 1520,531 \text{ mm}^2$ ).

Gaya tarik yang terjadi pada tulangan balok bagian kanan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \cdot f_y \cdot A_s \\ &= 1,25 \cdot 420 \cdot 1520,531 \\ &= 798278,775 \text{ N} \\ &= 798,278 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tekan yang terjadi kearah kiri:

$$C_1 = T_1 = 798,278 \text{ kN}$$

Gaya geser pada joint vj

$$\begin{aligned} V_j &= 1596,557 + 798,278 - 335,9639 \\ &= 2057,87 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kekuatan geser join

Joint terkekang balok pada keempat sisinya:

$$\begin{aligned}V_n &= 1,7 \sqrt{f_c'} A_g \\ &= 1,7 \cdot \sqrt{30} \cdot 600 \cdot 600 \\ &= 3352062,052 \text{ N} \\ &= 3352,062 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0,85(3352,062) = 2849,253 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_j$$

$$2849,253 \text{ kN} > 2057,87 \text{ kN}$$

Maka kuat geser memenuhi.

