

BAB II PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Preliminary Design

Preliminary design merupakan tahapan atau langkah menganalisa untuk memprediksi dimensi-dimensi struktur awal yang dibutuhkan yang kemudian akan dilakukan perhitungan dengan bantuan aplikasi untuk mendapatkan dimensi efisien yang kuat dan ekonomis.

2.1.1 Data Bangunan

Pada perancangan struktur gedung pengelola Gereja Kristen Muntilan, menggunakan beton bertulang, dengan data-data yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Tipe bangunan = Gedung Pengelola GKI Muntilan, 4 lantai
- Sistem Struktur = Sistem Tunnggal
- Lokasi Bangunan = Muntilan, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah
- Jenis Tanah = Sedang
- Lebar x Panjang = 20,2 m x 31,2m
- Mutu Beton ($f'c$) = 30 Mpa
- Mutu Baja Tulangan (f_y) = 420 (ulir)
- Lantai = keramik
- Plafond = *gypsum*
- Atap = galvalum
- Tinggi antar lantai = *basement* = 3,02 m
- Lantai 1 = 2,98 m
- Lantai 2 = 3 m
- Lantai 3 = 4,5 m

Atap = 4,5 m

2.1.2 Peraturan Yang Digunakan

Pada *Preliminary Design* akan mendapatkan sebuah dimensi desain yaitu balok, kolom, dan plat. *Preliminary Design* yang dilakukan mengacu pada peraturan-peraturan yang dapat ditemukan pada :

- SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Pembangunan Gedung,
- SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Pertahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan non Gedung,
- SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain,
- SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural,
- SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton,
- SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung,
- SNI 8900:2020 tentang Panduan Desain Sederhana untuk Bangunan Beton Bertulang,
- PPIUG (Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung) 1983.

2.1.3 Item Pembebanan

Beban yang dapat dipikul diperhitungkan bangunan sebagai berikut :

- Beban Gravitasi berdasarkan PPIUG-1983 tabel 2.1, didapatkan data sebagai berikut :
 - Beban Mati :
 - Berat sendiri beton bertulang = 2400 kg/m^3
 - Spesi / 3 cm = 21 kg/m^2
 - Pasir / 5 cm = 1800 kg/m^3

- Plafond + penggantung = 18 kg/m²
- Tembok setengah bata = 3 kg/m²
- *Plumbing* = 10 kg/m²
- Tegel = 24 kg/m²
- *Mechanical & electrical* = 100 kg/m²
- Beban Hidup :
 - Atap = 100 kg/m² (PPIUG-1983, tabel 3.1)
 - Lantai = 700 kg/m² (SNI 1727-2020, tabel 4.3-1)
 - Plat tangga = 479 kg/m² (SNI 1727-2020, tabel 4.3-1)
 - Beban Gempa :

Struktur tahan gempa direncanakan dan diperhitungkan, berdasarkan **SNI 1726:2019**, dengan memperhatikan zona gempa Kabupaten Magelang, Jawa Tengah, dengan jenis tanahnya SD (Sedang).

2.1.4 Perencanaan Dimensi Balok dan Kolom

Berdasarkan **SNI 2847:2019**, dilakukan perhitungan *Preliminary Design* dengan bentang terpanjang yang terdapat pada gedung adalah 12 m di dapatkan hasil :

- Dimensi Balok yang didapatkan ialah :
 - a. Balok induk : $H_1 = 550 \text{ mm}$
 $B_1 = 40 \text{ mm}$

Dimensi balok induk didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut

$H > B$:

$$H = \frac{L}{15} = \frac{8000}{15} = 533,333 \text{ mm} \sim 550 \text{ mm}$$

$$B = \frac{H}{2} = \frac{533,3333}{2} = 266,665 \text{ mm} \sim 400 \text{ mm}$$

b. Balok anak : $H_{a1} = 500 \text{ mm}$

$$B_{a1} = 300 \text{ mm}$$

Dimensi balok anak didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut H

$> B$:

$$H = \frac{L}{17} = \frac{8000}{17} = 470,5882 \text{ mm} \sim 500 \text{ mm}$$

$$B = \frac{H}{2} = \frac{470,5882}{2} = 235,29411 \text{ mm} \sim 300 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan untuk balok induk dan balok anak lainnya dapat dilakukan dengan cara yang sama sehingga didapatkan hasil seperti pada Tabel 2.1 Tabel Rekap Dimensi Balok.

Tabel 2.1 Tabel Rekap Dimensi Balok

No	Elemen	Bentang (mm)	Dimensi(mm)
1	Balok Induk	8000	550 × 400
		4000	400 × 300
2	Balok Anak	8000	500 × 300
		4000	350 × 250

c. Dimensi kolom yang digunakan dalam *preliminary design* dapat dilihat melalui Tabel 2.2 Tabel Pembebanan Atap hingga Tabel 2.6 Pembebanan Lantai Basement.

Tabel 2.2 Tabel Pembebanan Atap

Beban	Perhitungan				Berat (kN)
	Tinggi	Panjang	Lebar	Berat Jenis	
Balok induk	0,35	8	0,30	24	20,16
Balok anak	0,3	8	0,25	24	14,40
<i>Mechanical & Electrical</i>		4	4	0,20	3,20
Berat Kolom (Estimasi 45x45)cm	2,25	0,55	0,55	24	16,34
Berat Atap		6	4		99,23
Genangan Air	0,10	6	4		2,4
Total DL Atap					155,71

Tabel 2.3 Tabel Pembebanan Lantai 3

Beban	Perhitungan				Berat (kN)
	Tinggi	Panjang	Lebar	Berat Jenis	
Beban Atap					155,71
Pelat Lantai	0,13	6	4	24	74,88

Balok induk 2	0,35	10	0,30	24	25,20
Balok induk 1	0,55	10	0,35	24	46,20
Balok anak	0,24	10	0,25	24	14,12
Balok anak 2	0,25	10	0,3	24	15
Dinding	4,5	10		0,8	36
Keramik 1	0,01	6	4	21	5,04
Spesi (3 cm)	0,03	6	4	21	15,12
Mekanika Elektrikal		6	4	0,2	5
Plumbing		6	4	0,18	4,32
Plafon		6	4	0,18	4,32
Berat Kolom (Estimasi 55x55) cm	3,75	0,55	0,55	24	27,23
Berat Kolom (Estimasi 65x65) cm	3,75	0,65	0,65	24	38,03
Penggantung	0	6	4	0,18	4,32
Pasir 5 cm	0,05	6	4	14	16,8
Total DL Lt 3					482,76

Tabel 2.4 Tabel Pembebanan Lantai 2

Beban	Perhitungan				Berat (kN)
	Tinggi	Panjang	Lebar	Berat Jenis	
Beban Atap + Lantai 3					482,76
Pelat Lantai	0,13	6	4	24	74,88

Balok induk 2	0,35	10	0,30	24	25,20
Balok induk 1	0,55	10	0,35	24	46,20
Balok anak	0,24	10	0,25	24	14
Balok anak 2	0,25	10	0,30	24	18
Dinding	3	10		0,8	24
Keramik 1	0,01	6	4	21	5,04
Spesi (3 cm)	0,03	6	4	21	15,12
Mekanika Elektrikal		6	4	0,2	5
Plumbing		6	4	0,18	4,32
Plafon		6	4	0,18	4,32
Penggantung		6	4	0,18	4,32
Berat Kolom (Estimasi 55x55) cm	2,99	0,55	0,55	24	22
Berat Kolom (Estimasi 65x65) cm	2,99	0,65	0,65	24	30
Pasir 5 cm	0,05	6	4	14	16,8
Total DL Lt 2					787,58

Tabel 2.5 Tabel Pembebanan Lantai 1

Beban	Perhitungan				Berat (kN)
	Tinggi	Panjang	Lebar	Berat Jenis	
Beban Atap + sampai Lantai 2					787,58
Pelat Lantai	0,13	6	4	24	74,88

Balok induk 2	0,55	10	0,35	24	46,20
Balok anak	0,25	10	0,30	24	18
Dinding	2,98	10		0,8	23,84
Keramik 1	0,01	6	4	21	5,04
Spesi (3 cm)	0,03	6	4	21	15,12
Mekanika Elektrikal		6	4	0,2	5
Plumbing		6	4	0,18	4,32
Berat (Estimasi Kolom 0,65 x 0,65) cm	3	0,65	0,65	24	30,42
Berat Kolom (Estimasi 65x65) cm					30,32
Pasir 5 cm	0,05	6	4	14	16,80
Total DL Pelat					1057,32

Tabel 2.6 Pembebanan Lantai Basement

Beban	Perhitungan				Berat (kN)
	Tinggi	Panjang	Lebar	Berat Jenis	
Berat Atap + sampai Lantai 1					1057,323
Pelat Sloof	0,13	6	4	24	74,88

Balok induk	0,55	10	0,35	24	46,20
Spesi (3 cm)	0,03	6	4	21	15,12
Berat (Estimasi Kolom 0,65 x 0,65)	1,51	0,65	0,65	24	15,31
Pasir 5 cm	0,05	6	4	14	16,8
Mekanika Elektrikal Plumbing	0	6	4	0,2	4,8
Total DL Sloof					1230,434 8

$$\text{Kolom 1 (K}_1\text{)} = 650 \times 650 \text{ mm}$$

Dimensi Kolom, didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut:

Kolom persegi, maka $b = h$

$$\begin{aligned} B = H &= \sqrt{A} \\ &= \sqrt{241047,7430} \text{ mm}^2 \\ &= 490,9661 \text{ cm} \approx 650 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama seperti perhitungan kolom K1, didapatkan dimensi :

$$\text{Kolom 2 (K}_2\text{)} = 550 \times 550 \text{ mm}$$

d. Mutu beton yang digunakan dalam perencanaan digunakan sebesar 30 MPa

e. Modulus elastisitas beton yang digunakan adalah

$$\begin{aligned} E_c &= 4700\sqrt{f'c'} \quad (\text{SNI 2847 2019, 19.2.2.1.b}) \\ &= 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- f. Mutu baja yang digunakan dalam perencanaan untuk tulangan ulir dengan $f_y = 420$ Mpa serta untuk tulangan polos dengan modulus elastisitas sebesar 200000 MPa
- g. Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 6.5.4, didapati tebal plat yang digunakan untuk lantai adalah tipikal dengan ukuran sebesar 12,5 cm.

2.2 Klasifikasi Tanah

Sifat fisik tanah yang menjelaskan mengenai kondisi partikel-partikel tanah. Partikel ini yang pada awalnya terpisah-pisah kemudian menyatu membentuk sebuah agregat dari hasil proses pedogenesis. Menurut Hardjowigeno Pada saat merancang bangunan terlebih dahulu menentukan klasifikasi tanah. Klasifikasi tanah merupakan cara untuk mengelompokkan tanah berdasarkan kesamaan sifat serta ciri-ciri tanah yang di atasnya akan dibangun sebuah bangunan. Klasifikasi tanah perlu untuk dilakukan karena berfungsi untuk mengetahui kegiatan apa saja yang bisa atau tidak dilakukan di tanah tersebut, apakah memerlukan perlakuan khusus atau tidak.

Klasifikasi tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor pendukungnya seperti :

1. Komposisi material penyusun tanah, karakteristik tanah disatu tempat dengan tempat yang lain memiliki perbedaan tergantung pada penyusun materialnya.
2. Iklim atau cuaca, iklim atau cuaca berpengaruh pada aktifitas kehidupan di dalam tanah serta proses pembentukan tanah baru. Tanah yang sering terkena air hujan akan memiliki tekstur tanah yang cenderung lembek serta berlumpur dan tanah yang jarang terkena air hujan akan memiliki tekstur tanah yang cenderung keras.

3. Kehidupan organisme, beberapa makhluk hidup yang berada di dalam tanah dapat menghasilkan asam yang kemudian akan mengubah komposisi dari tanah sehingga mempengaruhi proses pembentukan tanah.

Klasifikasi tanah dibedakan berdasarkan teksturnya antara lain :

1. Tanah lunak : Tanah dengan nilai kompresibilitas tinggi
2. Tanah sedang : Tanah sedang atau yang biasa disebut dengan tanah lempung. Tanah sedang memiliki tekstur agak kasar namun bertekstur seperti lempung berpasir halus atau lempung berpasir.
3. Tanah keras : Tanah kasar tersusun atas pasir sebanyak 70 %

Pada perencanaan gedung pengelola GKI Muntilan telah di tentukan bila tanah yang akan digunakan sebagai gedung pengelola memiliki tekstur tanah sedang. Penentuan klasifikasi tanah ini ditentukan melalui data tanah pada Tabel 2.7 Klasifikasi Tanah BH1.

Tabel 2.7 Klasifikasi Tanah BH1

Kedalaman dari permukaan	N1	Kedalaman	di	d_i/n_i	Jenis Tanah (Pengamatan di lapangan)	Relatif Density
0 s/d 2	6	0	2	0,25	Pasir Kasar	Lepas
2 s/d 4	8	2			Pasir Kasar	Lepas
4 s/d 6	19	4	2	0,1053	Pasir Kasar	Sedang
6 s/d 8	23	6	2	0,0870	Pasir Halus	Sedang
8 s/d 10	19	8		0,1053	Pasir	Sedang

Kedalaman dari permukaan	N1	Kedalaman	di	$\frac{di}{ni}$	Jenis Tanah (Pengamatan di lapangan)	Relatif Density
10 s/d 12	12	10	2	0,1667	Pasir	Sedang
12 s/d 14	24	12	2	0,0833	Pasir Lanau	Sedang
14 s/d 16	45	14	2	0,0444	Pasir	Padat
16 s/d 18	45	16	2	0,0444	Pasir Berkerikil	Padat
18 s/d 20	42	18	2	0,0476	Pasir Lanau Berkerikil	Padat
Total			20	0,9340		

$$\bar{N} = \frac{\sum di}{\frac{\sum di}{ni}} = \frac{20}{0,9340} = 21,4135 \quad (\text{SNI 1726:2019 5.4.2.2})$$

Berdasarkan perhitungan \bar{N} didapatkan hasil 21,4135 dan apabila mengacu pada SNI 1726:2019 yang dapat dilihat melalui Tabel 2.8 Klasifikasi Situs tanah tersebut dapat di klasifikasikan kedalam kelas tanah sedang (SD).

Tabel 2.8 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ck}	\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	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	15 sampai	< 50

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ck}	\bar{S}_u (kPa)
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)			<p>Atau seriap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa <p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organic dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) <p>Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa</p>

2.3 Perhitungan Beban Gempa

Beban gempa merupakan semua beban statistic ekuivalen yang bekerja pada gedung ataupun bagian gedung yang mengikuti dengan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Beban gempa dapat tercipta karena adanya pergerakan dari aktifitas tanah. Beban gempa dianalisis melalui dua metode yaitu sanalisis statistik dan analisis dinamik.

1. Analisis Statistik Ekuivalen merupakan metode analisis yang mengacu pada getaran gempa yang akan dimodelkan sebagai beban-beban horizontal statik yang bekerja pada pusat massa bangunan.

2. Analisis Dinamik merupakan metode analisis yang pembagian gaya geser gempanya terdapat diseluruh tingkat yang diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik dibagi menjadi 2, yaitu analisis riwayat waktu percepatan gempa dan analisis ragam respon spektrum. Analisis riwayat waktu percepatan gempa adalah analisis dinamis pada struktur yang pengaplikasiannya pada percepatan gempa dari input berupa akselerogram dan respon struktur. Analisis ragam respon spektrum merupakan spektrum yang total yang didapatkan melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar.

Perencanaan bangunan gedung pengelola GKI Muntilan didesain untuk dapat menaham beban gempa. Oleh karena itu diperlukan perhitungan-perhitungan untuk mendapatkan beban gempa tersebut yang akan diberikan dibawah ini.

2.3.1 Menentukan nilai S_S dan S_1 berdasarkan lokasi bangunan

Lokasi = Muntilan Kab. Magelang

S_1 = 0,4205 g (rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021)

S_S = 0,8863 g (rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021)

2.3.2 Menentukan kelas situs berdasarkan Penyelidikan Tanah

Kelas situs = SD (Sedang)

2.3.3 Menentukan nilai F_a dan F_v

F_a = 1

F_v = 1,7

Penentuan nilai F_a dan F_v mengacu pada SNI 1726:2019 yang dapat dilihat melalui Tabel 2.9 Koefisien Situs F_a dan Tabel 2.10 Koefisien Situs F_v .

Tabel 2.9 Koefisien Situs F_a

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

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
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	$SS^{(a)}$					

Tabel 2.10 Koefisien Situs F_v 2.3.4 Menghitung S_{MS} dan S_{M1} (SNI 1726:2019 6.2.7 dan 6.2.8)

$$\begin{aligned}
 S_{MS} &= F_a \times S_s \\
 &= 1 \times 0,8863 = 0,8863 \quad g
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{M1} &= F_v \times S_1 \\
 &= 1,7 \times 0,4205 = 0,7149 \quad \text{g}
 \end{aligned}$$

2.3.5 Menghitung S_{DS} dan S_{D1} (SNI 1726:2019 6.2.9 dan 6.2.10)

$$\begin{aligned}
 S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,8863 = 0,5909 \quad \text{g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,7149 = 0,4766 \quad \text{g}
 \end{aligned}$$

2.3.6 Menentukan batasan T_0 dan T_s (SNI 1726:2019 6.4.13)

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times \frac{SD1}{SDS} \\
 &= 0,2 \times \frac{0,4766}{0,5909} = 0,1613 \quad \text{detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{SD1}{SDS} \\
 &= \frac{0,4766}{0,5909} = 0,8066 \quad \text{detik}
 \end{aligned}$$

2.3.7 Gambar Respon Spektra

Hasil perhitungan respon spektra mengacu pada SNI 1726:2019 dan hasil perhitungan perhitungan T dan S_a dapat dilihat melalui Tabel 2.11 Hubungan antara T dan S_a .

Tabel 2.11 Hubungan antara T dan S_a

T	S_a
0,0000	0,2363
0,1613	0,5909

T	S_a
0,8066	0,5909
1,0000	0,4766
1,2500	0,3813
1,5000	0,3177
1,7500	0,2723
2,0000	0,2383
2,2500	0,2118
2,5000	0,1906
2,7500	0,1733
3,0000	0,1589
3,2500	0,1466
3,5000	0,1362
3,7500	0,1271
4,0000	0,1191
4,2500	0,1121
4,5000	0,1059
4,7500	0,1003
5,0000	0,0953
5,2500	0,0908
5,5000	0,0866
5,7500	0,0829
6,0000	0,0794

Contoh perhitungan :

$$T_1 = 0$$

$$S_{a1} = 0,4 \times S_{DS}$$

$$= 0,4 \times 0,5909 = 0,2363$$

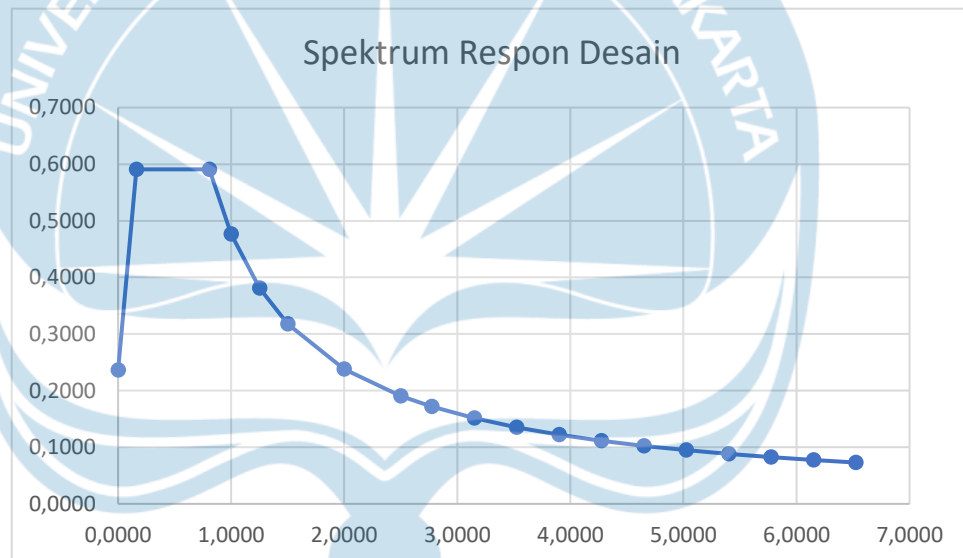
$$T_2 = T_0 = 0,1613$$

$$S_{a2} = S_{DS} = 0,5909$$

$$T_3 = T_s = 0,8066$$

$$S_{a3} = S_{DS} = 0,5909$$

Setelah mencari hasil T dan S_a selanjutnya membuat desain grafik respon spektra yang dapat dilihat melalui Gambar 2.1 Grafik 1 Hubungan S_a (g) dan T (detik).



Gambar 2.1 Grafik 1 Hubungan S_a (g) dan T (detik)

Untuk $0 < T < T_s$

$$T = 0$$

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

$$= 0,5909 \times \left(0,4 + 0,6 \times \frac{0}{0,1613} \right)$$

$$= 0,2363$$

Untuk $T_0 < T < T_s$

$$T = 0,5$$

$$S_a = S_{Ds} = 0,5909$$

Untuk $T_s < T < T_L$

$$T = 1$$

$$S_a = \left(\frac{S_{D1}}{T_s} \right) = \left(\frac{0,4766}{0,8066} \right) = 0,5909$$

Untuk $T > T_L$

$$T = 1$$

$$T_L = 20$$

$$S_a = \left(\frac{S_{D1} \times T}{T_L^2} \right) = \left(\frac{0,4766 \times 1}{20^2} \right) = 0,0012$$

2.3.8 Menentukan Kategori Resiko

Fungsi Bangunan = Gedung Pengelola GKI Muntilan

Kategori Risiko = IV

Faktor Keutamaan (Ie) = 1,5

2.3.9 Menentukan Kategori Desain Seismik

Pada perencanaan gedung perlu diketahui kelas resiko gempa yang mungkin terjadi pada gedung sehingga perlu ditentukan terlebih dahulu kelas resiko gempanya yang mengacu pada SNI 1726:2019. Penentuan tersebut dapat dilihat melalui Tabel 2.12 Kategori desain seismik dan Tabel 2.13 Kategori desain seismik.

Berdasarkan S_{DS} = D

Berdasarkan S_{DI} = D

Berdasarkan KDS = D

Tabel 2.12 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek

Nilai	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 2.13 Kategori desain seismik Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik

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

2.3.10 Menentukan Sistem Struktur dan Parameter Struktur berdasarkan KDS (SNI 1726:2019 Tabel 28)

$$R = 8$$

$$M_{u0} = 3$$

$$C_D = 5,5$$

2.3.11 Menentukan Periode Fundamental (T)

$$\text{Jenis Struktur} = \text{Beton}$$

$$\text{Tinggi} = 18,18 \text{ m}$$

Berdasarkan volume pendekatan

$$C_t = 0,0488 \quad (\text{Tabel 18 SNI 1726:2019})$$

$$x = 0,74 \quad (\text{Tabel 18 SNI 1726:2019})$$

$$T_a = C_t \times H_n^x \quad (\text{SNI 1726:2019 7.8.2.1})$$

$$= 0,0488 \times 18,18^{0,74} = 0,4174$$

$$C_u = 1,4 \quad (\text{Tabel 17 SNI 1726:2019})$$

$$T_{maks} = C_u \times T_a \quad (\text{SNI 1726:2019 7.8.2})$$

$$= 1,4 \times 0,4174 = 0,5843$$

T yang digunakan :

$$T = 0,4174 \quad (\text{SNI 1726:2019 31})$$

2.3.12 Menentukan Faktor Respon Gempa (C_s)

Untuk $T \leq T_s$

$$C_s = \left(\frac{S_{Ds}}{R} \right)_{Ie} \quad (\text{SNI 1726:2019 31})$$

$$= \left(\frac{0,5909}{1,5} \right) = 0,1108$$

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \left(\frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{Ie}} \right) \quad (\text{SNI 1726:2019 31})$$

$$= \left(\frac{0,4766}{0,4174 \times \frac{8}{1,5}} \right) = 0,2141$$

Untuk $T \geq T_L$

$$C_s = \left(\frac{S_{D1} \times T_L}{T^2 \times \frac{R}{Ie}} \right) \quad (\text{SNI 1726:2019 31})$$

$$= \left(\frac{0,4766 \times 20}{0,4174^2 \times \frac{8}{1,5}} \right) = 10,2593$$

Diperoleh C_s :

$$C_s = 0,1107875 \quad (\text{SNI 1726:2019 pers 31})$$

$$C_s \text{ min} = 0,044 \times S_{Ds} \times Ie \quad (\text{SNI 1726:2019 pers 34})$$

$$= 0,044 \times 0,5909 \times 1,5 = 0,0390$$

$$C_s \text{ min} = 0,01 \quad (\text{SNI 1726:2019 pers 34})$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g :

$$C_s \text{ min} = \frac{0,5 \times S_1}{\frac{R}{Ie}} \quad (\text{SNI 1726:2019 pers 35})$$

$$= \frac{0,5 \times 0,4205}{\frac{8}{1,5}} = 0,0394$$

C_s min terpakai = 0,0390 (SNI 1726:2019 pers 34)

Digunakan :

C_s = 0,1108

2.3.13 Menentukan Gaya Dasar Seismik

Lantai	w	h	$w \times h^k$	C_{vx}	F_x	V_x
4	155,7135	4,5	658,4925	0,0748	24,2394	24,2395
3	482,7612	3	1384,0153	0,1571	50,9463	75,1858
2	1057,3234	2,98	3011,8368	0,3420	110,8673	186,0531

$$W = 3990,9833 \text{ kN}$$

$$V = C_s \times W$$

$$= 442,1511 \text{ kN (SNI 1726:2019 pers 30)}$$

2.3.14 Distribusi Vertikal Gaya Gempa (Arah Horizontal/Lateral)

Hasil perhitungan distribusi vertikal gaya gempa yang terjadi setiap lantainya dapat dilihat melalui Tabel 2.14 Distribusi Gaya Gempa Lateral dan Gaya Gempa Vertikal.

Tabel 2.14 Distribusi Gaya Gempa Lateral dan Gaya Gempa Vertikal

Basement	1230,4348	3,2	3752,6482	0,4261	138,1370	324,1900
Total	2926,2330		8806,9929		324,1900	

k

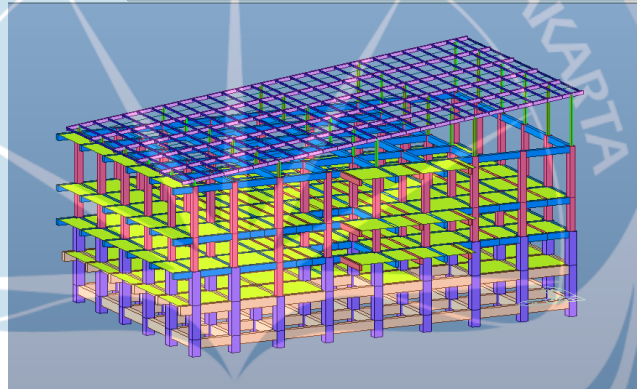
$$= 0,75 + 0,5 \times T$$

$$= 0,75 + 0,5 \times 0,4174$$

$$= 0,9587$$

2.4 Perencanaan Struktur Atas

Perencanaan struktur atas dimulai dengan melakukan pemodelan pada aplikasi *Midas-Gen*. Hasil pemodelan pada *Midas-Gen* dapat dilihat melalui



Gambar 2.2 Pemodelan 3D Gedung Pengelola GKI Muntilan

Gambar 2.2 Pemodelan 3D Gedung Pengelola GKI Muntilan.

2.4.1 Kombinasi Pembebanan

Setelah didapatkan perhitungan pembebanan yang telah dilakukan rekapitulasi pada tabel pembebanan, maka dilakukan perhitungan *load combination*, dengan perhitungan sebagai berikut :

Kombinasi 1 : 1,4DL

Kombinasi 2 : 1,2DL + 1,6LL

- Kombinasi pembebanan beban total yang ditopang oleh bangunan :

- Kombinasi 1 = 1,4DL
 = 1,4 x 1230,4348
 = 1722,6988 kN
- Kombinasi 2 = 1,2DL + 1,6LL
 = 1,2 x 1230,4348 + 1,6 x 357,74
 = 2048,9058 kN

Dari kedua kombinasi diatas, maka nilai terbesar yang digunakan sebagai P_u , yaitu dengan nilai 2048,9058 kN

2.4.2 Perhitungan Dimensi Kolom

Berdasarkan perhitungan P_u ditentukan P_{max} yang kemudian hasilnya tersebut digunakan untuk perhitungan kolom sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A \text{ rencana lantai 2 dan 3} &= \frac{3P_u}{0,85 \times f'c} \\
 &= \frac{3 \times 1261485,8157}{0,85 \times 30} = 148410,0960 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A \text{ rencana lantai 2 dan 3} &= \frac{3P_u}{0,85 \times f'c} \\
 &= \frac{3 \times 2048905,82}{0,85 \times 30} = 241047,7430 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Pada perencanaan gedung pengelola GKI Muntilan di tentukan bila dimensi kolom berupa persegi maka :

$$b = h \text{ atau } A = h^2 \text{ maka : } b = \sqrt{A}$$

$$b \text{ lantai 2 - Atap} = \sqrt{148410,0960} = 385,2403 \text{ mm}$$

$$b \text{ Total} = \sqrt{241047,7430} = 490,9661 \text{ mm}$$

Dimensi kolom rencana :

$$b \text{ lantai 2-Atap} = 550 \text{ mm}$$

$$b \text{ total} = 650 \text{ mm}$$

2.5 Perencanaan Struktur Atap

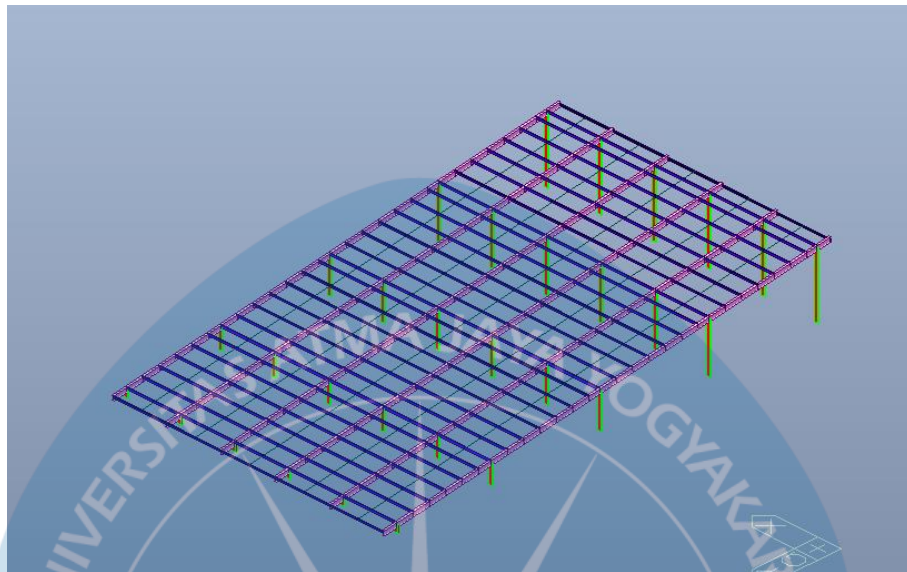
2.5.1 Material

Pada perencanaan atap untuk gedung pengelola Gereja Kristen Indonesia Muntilan, digunakan model atap dengan jenis *monoframe*. Penyusun atap terdiri dari dua penyusun utama rangkanya yaitu gording dan rafter. Gording adalah bagian dari beberapa komponen atap yang letaknya berada di atas *rafter* yang berfungsi untuk menahan atap, sedangkan *rafter* adalah beberapa komponen atap yang letaknya berada di bawah gording yang fungsinya untuk menahan gording. Pada perencanaan profil baja yang digunakan adalah sebagai berikut dan dimodelkan pada Gambar 2.3 Pemodelan Atap.

Gording = CNP (*Channel Profile*) C 150 x 50 x 20 x 2,3

Rafter = I-WF (*Wide Flange Profile*) WF 300 x 150 x 6,5 x 9

Kolom rafter = I-WF (*Wide Flange Profile*) WF 200 x 200 x 8 x 12



Gambar 2.3 Pemodelan Atap

Material yang digunakan untuk merangkai struktur atap dari gedung pengelola GKI Muntilan adalah sebagai berikut :

- Jenis Atap = Galvalum
- Jarak antar *gording* = 1,2 m
- Sudut kemiringan atap = 7°
- Tinggi maksimal kolom = 4,5 m
- Tinggi minimal kolom = 0,5 m
- Berat atap = 9,4 kg/m
- Plafond + penggantung = 18 kg/m²
- Berat *CNP* = 4,96 kg/m
- Berat I-WF *rafter* = 36,7 kg/m
- Berat I-WF kolom = 49,9 kg/m
- Panjang *lis-plank* = 1 m

2.5.2 Perhitungan *Gording*

Perencanaan *gording* yang digunakan pada struktur atap GKI muntilan, didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut :

- Beban Mati :

$$\text{Berat sendiri} = (\text{Tabel Garuda Steel}) = 0,0496 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat atap} = \frac{\text{Jarak antar gording}}{\cos \alpha} \times \text{berat atap} = 0,01173 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat Plafond} = \text{Jarak antar gording} \times \text{berat plafond} = 0,0216 \text{ kN/m} +$$

$$\text{Dead Load (DL) (q)} = 0,3829 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban Hidup (LL) (p)} = 1 \text{ kN/m}$$

- Rencana Momen Gording :

Arah sumbu 2 :

$$\begin{aligned} M_{3,D} &= \frac{1}{8} \times q \times \cos \alpha \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,3829 \times \cos 7 \times 4^2 \\ &= 0,7600 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3,L} &= \frac{1}{4} \times P \times \cos \alpha \times L \\ &= \frac{1}{4} \times 1 \times \cos 7 \times 4 \\ &= 0,9925 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3,U} &= 1,2 \times M_{3,D} + 1,6 \times M_{3,L} \\ &= 1,2 \times 0,7700 + 1,6 \times 0,9925 \\ &= 1,0641 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3,U} &= 1,2 \times M_{3,D} + 1,6 \times M_{3,L} \\ &= 1,2 \times 0,7600 + 1,6 \times 0,9925 \\ &= 2,5001 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$M_{3,U}$ used merupakan nilai terbesar dari kombinasi diatas, yaitu 2,5001 kN/m.

- Momen arah sumbu 3

$$\begin{aligned} M_{2,D} &= \frac{1}{8} \times q \times \cos \alpha \times \frac{L^2}{3} \\ &= \frac{1}{8} \times 0,3829 \times \cos 7 \times \frac{(4 \times 1000)^2}{3} \\ &= 0,0104 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2,L} &= \frac{1}{4} \times P \times \sin \alpha \times \frac{L}{3} \\ &= \frac{1}{4} \times 1 \times \sin 7 \times \frac{4 \times 1000}{3} \\ &= 0,0406 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2,U} &= 1,4 \times M_{2,D} \\ &= 1,4 \times 0,0104 \\ &= 0,0145 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2,U} &= 1,2 \times M_{2,D} + 1,6 \times M_{2,L} \\ &= 1,2 \times 0,0104 + 1,6 \times 0,0406 \\ &= 0,0774 \end{aligned}$$

$M_{2,U}$ *used* merupakan nilai terbesar dari kombinasi diatas, yaitu 0,0774 kN/m.

- Cek tegangan pada profil C (Data didapat dari tabel *garuda steel*)

$$I_x = 4.250.000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 655.000 \text{ mm}^4$$

$$Z_x = 68.000 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = 14.400 \text{ mm}^3$$

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

$$= \frac{2,5001}{0,9 \times 68000} + \frac{0,0774}{0,9 \times 14400} \times 1000000$$

$$= 46,8270 \text{ Mpa} \leq 240 \text{ MPa Aman!}$$

- Cek Defleksi Gording

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha L^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{q \cos \alpha L^3}{EI} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,3829 \cos 7 \cdot 4000^4}{200000 \times 4250000} + \frac{1}{48} \times \frac{0,3829 \cos 7 \cdot 4000^3}{200000 \times 4250000} \\ &= 1,4903 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_3 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha}{EI} \times \left(\frac{L}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{q \sin \alpha}{EI} \times \left(\frac{L}{3}\right)^3 \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,3829 \sin 7}{200000 \times 4250000} \times \left(\frac{4 \times 1000}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{0,3829 \sin 7}{200000 \times 4250000} \times \left(\frac{4 \times 1000}{3}\right)^3 \\ &= 0,0023 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{\delta_2^2 + \delta_3^2} \leq \frac{1}{4} \times 8000 \\ &= 1,4903 \text{ mm} \leq 16,6667 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Sag-Rog

Rencana Sag-Rod

Jumlah gording dibawah nok = 4

$$\begin{aligned} F_{t,D} &= n \times \left(\frac{L}{3} \times q \times \sin \alpha\right) \\ &= 4 \times \left(\frac{4}{3} \times 0,3829 \times \sin 7\right) \\ &= 0,2489 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$F_{t,L} = \frac{n}{2} \times p \times \sin \alpha$$

$$= \frac{2}{2} \times 1 \times \sin 7$$

$$= 0,2437 \text{ kN}$$

Kombinasi Pembebanan

$$F_{t,U} = 1,4 F_{t,D}$$

$$= 1,4 \times 0,2489$$

$$= 0,3484 \text{ kN}$$

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

$$= 1,2 \times 0,3484 + 1,6 \times 0,2437$$

Luas batang Sag-Rod yang dibutuhkan :

$$A_{sr} = \frac{F_t \cdot 10^3}{\phi F_y}$$

$$= \frac{3484 \times 10^3}{0,9 \times 240}$$

$$= 3,1880 \text{ kN}$$

$$= \sqrt{3,1880}$$

$$= 1,7855 \text{ mm} \sim 8 \text{ mm}$$

2.5.3 Perhitungan Rafter

Data-data yang diketahui sebagai berikut:

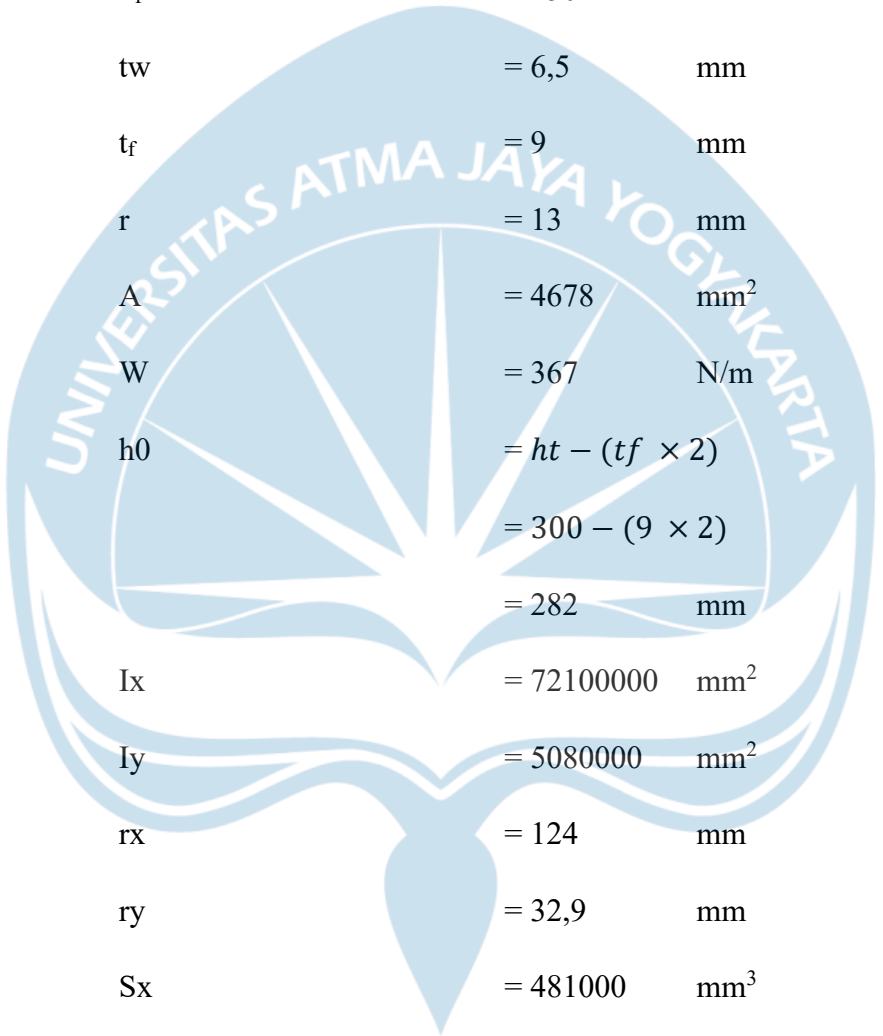
Profil I-WF 300 x 150 x 6,5 x 9

Tegangan Leleh baja (F_y)	= 240	MPa
-------------------------------	-------	-----

Tegangan sisa	= 70	MPa
---------------	------	-----

Modulus Elastik Baja (E)	= 200000	MPa
------------------------------	----------	-----

Angka poisson (ν)	= 0,3	
-------------------------	-------	--



Modulus geser (G) = 80000 MPa
 $d=ht$ = 300 mm
 b_f = 150 mm
 t_w = 6,5 mm
 t_f = 9 mm
 r = 13 mm
 A = 4678 mm²
 W = 367 N/m
 h_0 = $ht - (t_f \times 2)$
 = $300 - (9 \times 2)$
 = 282 mm
 I_x = 72100000 mm²
 I_y = 5080000 mm²
 r_x = 124 mm
 r_y = 32,9 mm
 S_x = 481000 mm³
 S_y = 67700 mm³
 b_w = $(ht - 2) \times t_f$
 = $(300 - 2) \times 9$
 = 282 mm
 h_1 = $t_f + r$

$$= 9 + 13$$

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

$$h_2 = ht + 2h_1$$

$$= 300 + (2 \times 22)$$

$$= 256 \quad \text{mm}$$

$$h = ht - tf$$

$$= 300 - 9$$

$$= 291 \quad \text{mm}$$

$$J \text{ (konstanta torsi)} = \frac{(bw \times tf^3)}{3} + 2 \times (bf \times tw^3) \times \frac{1}{3}$$

$$= \frac{(282 \times 9^3)}{3} + 2 \times (150 \times 6,5^3) \times \frac{1}{3}$$

$$= 95988,5 \text{ mm}^4$$

$$I_w = I_y \times \left(\frac{h^2}{4}\right)$$

$$= 32,9 \times \left(\frac{291^3}{4}\right)$$

$$= 1,0754 \times 10^{11} \text{ mm}^6$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{E \times G \times J \times \frac{A}{2}}$$

$$= \frac{\pi}{482000} \times \sqrt{200000 \times 80000 \times 95988,5 \times \frac{4678}{2}}$$

$$= 12379,1123 \text{ MPa}$$

$$x_2 = 4 \times \left(\frac{S_x}{(G \times J)^2}\right) \times \frac{I_w}{I_y}$$

$$= 4 \times \left(\frac{481000}{(80000 \times 95988,5)^2} \right) \times \frac{1,0754 \times 10^{11}}{5080000}$$

$$= 6,9 \times 10^{-10} \text{ mm}^2/\text{N}^2$$

$$Z_x = 728600 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = 151800 \text{ mm}^3$$

○ Perhitungan Beban Rafter

Beban $P_1 =$

$$\begin{aligned} \text{Beban sendiri rafter} &= \frac{a}{2} \times \text{berat } wf \\ &= \frac{1,2}{2} \times 0,367 \\ &= 0,2202 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Gording} &= L \times \text{Berat Gording} \\ &= 4 \times 0,0496 \\ &= 0,1984 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Atap} &= \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos \alpha} \times L \times \text{berat atap} \\ &= \frac{\left(\frac{1,2}{2} + 1\right)}{\cos 7^\circ} \times 4 \times 0,094 \\ &= 0,6061 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Plafond} &= \left(\frac{a}{2} + b\right) \times L \times \text{Berat Plafond} \\ &= \left(\frac{1,2}{2} + 1\right) \times 4 \times 0,18 \\ &= 1,1520 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban total yang di dapatkan adalah sebesar **2,1767 kN**

o Perhitungan Beban Rafter

Beban $P_2 =$

$$\begin{aligned} \text{Beban sendiri rafter} &= a \times \text{berat wf} \\ &= 1,2 \times 0,367 \\ &= 0,4404 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Gording} &= L \times \text{Berat Gording} \\ &= 4 \times 0,0496 \\ &= 0,1984 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Atap} &= \frac{a}{\cos \alpha} \times L \times \text{berat atap} \\ &= \frac{1,2}{\cos 7^\circ} \times 4 \times 0,094 \\ &= 0,4546 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Plafond} &= a \times L \times \text{Berat Plafond} \\ &= (1,2 \times 4 \times 0,18) \\ &= 0,8640 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bebean total yang di dapatkan adalah sebesar **1,9574 kN**

o Cek keamanan profil

$$\text{Panjang elemen miring terhadap sumbu X} = 33108,1 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang elemen terhadap sumbu Y} = 1200 \text{ mm}$$

$$\text{Momen maksimum akibat beban terfaktor } (M_u) = 14388308,73 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen pada } \frac{1}{4} \text{ bentang } (M_A) = 3368926,946 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen pada } \frac{1}{2} \text{ bentang } (M_B) = 4063686,545 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen pada } \frac{3}{4} \text{ bentang } (M_C) = 8261328,121 \text{ Nmm}$$

$$\text{Gaya aksial akibat beban terfaktor } (P_u) = 3600,67 \text{ N}$$

$$\text{Gaya geser akibat beban terfaktor } (V_u) = 10072,0521 \text{ N}$$

Data diatas bisa di dapatkan menggunakan MIDAS-GEN.

Menurut **SNI 1729:2020**, C_b dapat di hitung menggunakan rumus berikut :

$$C_b = \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$C_b = \frac{12,5(14388308,73)}{2,5(14388308,73) + 3(3368926,946) + 4(4063686,545) + 3(8261328,121)}$$

$$= 2,0645$$

$$C = 1$$

- o Momen nominal pengaruh lokal buckling

$$b = \frac{bf}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm}$$

$$t = tf = 9 \text{ mm}$$

$$K = 0,65 \text{ (Jepit)}$$

Kelangsingan penampang sayap :

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{75}{2 \times 9} = 4,167$$

$$\lambda_p = 1,76 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,76 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 10,970$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{E}{fy}} = 28,868$$

Karena di dapatkan $\lambda < \lambda_p$ maka sayap penampang dinyatakan kompak

Kelangsingan penampang badan :

$$\lambda = \frac{h}{tw} = 32,333$$

$$\lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 108,542$$

$$\lambda_r = 5,7 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 5,7 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 164,545$$

Karena di dapatkan $\lambda < \lambda_p$ maka badan penampang dinyatakan kompak.

Berdasarkan perhitungan di atas profil IWF dinyatakan kompak didapatkan dari hasil dari $\lambda < \lambda_p$ pada penampang sayap dan penampang badan. Maka dapat dinyatakan $M_n = M_p$.

$$\begin{aligned} M_n &= M_p \\ &= F_y \times Z_x \\ &= 240 \times 728600 \\ &= 174864000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- o Momen nominal pengaruh Lateral Buckling

$$\begin{aligned} r_{ts} &= \frac{bf}{\sqrt{12 \times (1 + \frac{1}{6} \times \frac{ht_w}{b_f t_f})}} \\ &= \frac{150}{\sqrt{12 \times (1 + \frac{1}{6} \times \frac{300 \times 6,5}{150 \times 12})}} \\ &= 38,8741 \end{aligned}$$

$$L = 1200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_r &= 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \times \sqrt{\frac{JC}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{JC}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2}} \\ &= 1,95 \times 38,9741 \times \frac{200000}{0,7 \times 240} \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\sqrt{\frac{95988,5 \times 1}{481000 \times 191} + \sqrt{\left(\frac{95988,5 \times 1}{481000 \times 191}\right)^2 + 6,76 \times \left(\frac{0,7 \times 240}{200000}\right)^2}} \\ &= 56019145516,624 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76ry \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 1,76 \times 32,9 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} \\
 &= 1671,544 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Didapatkan hasil dari profil IWF yaitu $L < L_p$ maka pada profil ini tidak terjadi LTB. $M_n = M_p$.

$$\begin{aligned}
 M_p &= F_y \times Z_x \\
 &= 240 \times 728600 \\
 &= 174864000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

o Momen lentur

$$\begin{aligned}
 M_n &= 174864000 \text{ Nmm} \\
 \Phi M_n &= 0,9 \times 17486400 \\
 &= 157377600 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

o Tekan aksial

$$\frac{L_{cx}}{r_x} = \frac{33108,1}{124} = 267,001$$

$$\frac{L_{cy}}{r_y} = \frac{1200}{32,9} = 36,474$$

$$\text{Max } \frac{L_c}{r} = 267,001$$

$$\frac{L_c}{r} \geq 4,17 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,17 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,966$$

$$267,001 \geq 135,966$$

Terjadi elastix buckling, maka untuk menghitung F_{cr} digunakan rumus, yaitu

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

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

$$= \frac{\pi^2 \times 200000}{(3,841)^2}$$

$$= 133806,052$$

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

$$= 0,877 \times 133806,052$$

$$= 24,283 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr}Ag$$

$$= 24,283 \times 4878$$

$$= 113596,357 \text{ N}$$

$$\Phi P_n = 0,9P_n$$

$$= 0,9 \times 113596,357$$

$$= 102236,722 \text{ N}$$

o Interaksi aksial tekan dan momen lentur

$$\frac{P_u}{\Phi P_n} = \frac{3600,67}{102236,722} = 0,035 < 0,2$$

Maka dapat digunakan rumus berikut:

$$\frac{P_u}{2\Phi P_n} + \frac{M_u}{\Phi M_n} = \frac{3600,67}{2 \times 102236,722} + \frac{14388307,73}{157377600} = 0,109 < 1 \text{ (aman)}$$

o Geser

$$kv = 5,34$$

$$\frac{h}{tw} = \frac{300 - 9}{6,5} = 44,7692 \leq 1,1 \sqrt{kv \frac{E}{F_y}} = 1,1 \times \sqrt{5,34 \times \frac{200000}{240}}$$

$$= 73,379 \text{ (sudah memenuhi syarat)}$$

$$Aw = t_w h_t$$

$$= 6,5 \times 300$$

$$= 1950 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 0,60F_yAw$$

$$= 0,60 \times 240 \times 1950$$

$$= 280800 \text{ N}$$

$$\Phi V_n = 0,9V_n$$

$$= 0,9 \times 280800$$

$$= 252720 > V_u = 10072,1 \text{ N (aman)}$$

- Interaksi geser dan lentur

$$\frac{M_u}{\Phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\Phi V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{14388307,73}{157377600} + 0,625 \times \frac{10072,0521}{252720} \leq 1,375$$

$$0,1160 \leq 1,375 \text{ (Aman)}$$

2.5.4 Perhitungan Penyangga *Rafter*

Data-data yang diketahui sebagai berikut:

Profil I-WF 200 x 200 x 8 x 12

Tegangan Leleh baja (F_y) = 240 MPa

Tegangan sisa = 70 MPa

Modulus Elastik Baja (E) = 200000 MPa

Angka poisson (ν) = 0,3

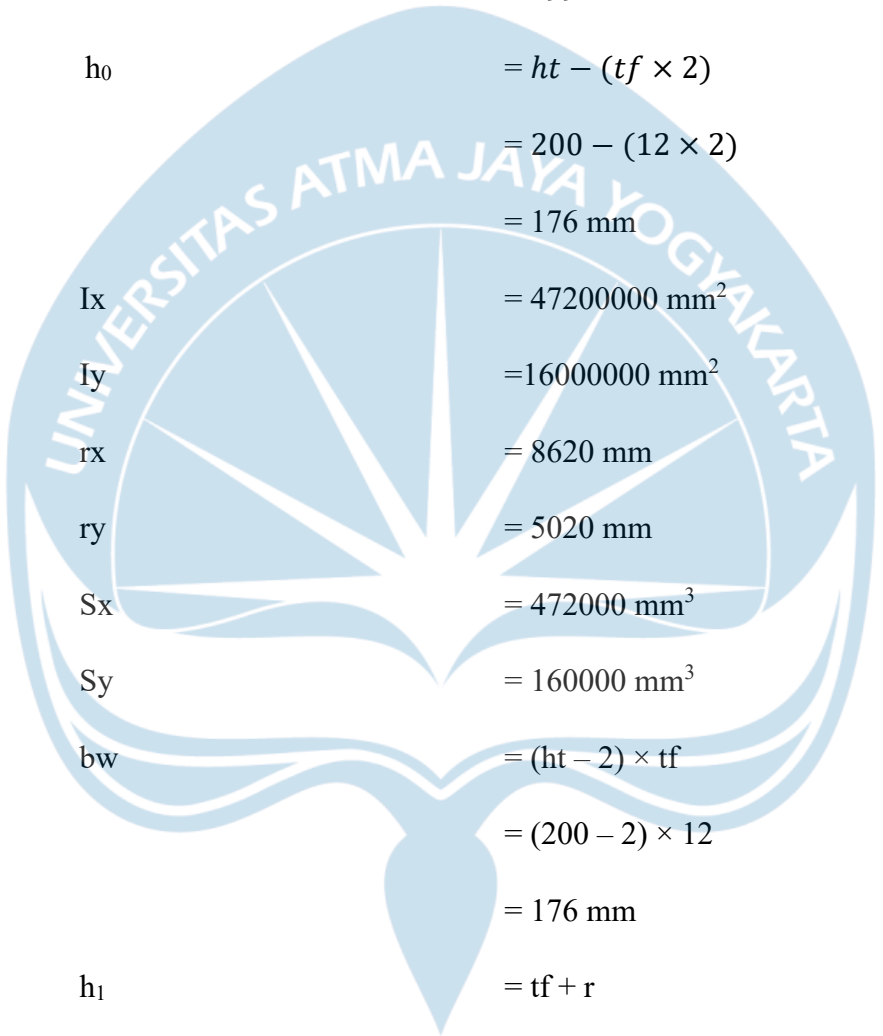
Modulus geser (G) = 80000 MPa

$d=ht$ = 200 mm

b_f = 200 mm

t_w = 8 mm

t_f = 12 mm



$r = 13 \text{ mm}$
 $A = 6353 \text{ mm}^2$
 $W = 499 \text{ N/m}$
 $h_0 = ht - (tf \times 2)$
 $= 200 - (12 \times 2)$
 $= 176 \text{ mm}$
 $I_x = 47200000 \text{ mm}^2$
 $I_y = 16000000 \text{ mm}^2$
 $r_x = 8620 \text{ mm}$
 $r_y = 5020 \text{ mm}$
 $S_x = 472000 \text{ mm}^3$
 $S_y = 160000 \text{ mm}^3$
 $bw = (ht - 2) \times tf$
 $= (200 - 2) \times 12$
 $= 176 \text{ mm}$
 $h_1 = tf + r$
 $= 12 + 13$
 $= 25 \text{ mm}$
 $h_2 = ht + 2h_1$
 $= 200 + (2 \times 25)$
 $= 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 h &= ht - tf \\
 &= 200 - 12 \\
 &= 188 \text{ mm} \\
 J \text{ (konstanta torsi)} &= \frac{(bw \times tf^3)}{3} + 2 \times (bf \times tw^3) \times \frac{1}{3} \\
 &= \left(\frac{176 \times 12^3}{3} \right) + 2 \times (200 \times 8^3) \times \frac{1}{3} \\
 &= 169642,6667 \text{ mm}^4 \\
 I_w &= ly \times \left(\frac{h^2}{4} \right) \\
 &= 16000000 \times \left(\frac{188^2}{4} \right) \\
 &= 1,41376 \times 10^{11} \text{ mm}^6 \\
 x1 &= \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{E \times G \times J \times \frac{A}{2}} \\
 &= \frac{\pi}{472000} \times \\
 &\quad \sqrt{200000 \times 80000 \times 169642,6667 \times \frac{6353}{2}} \\
 &= 19543,83739 \text{ MPa} \\
 x2 &= 4 \times \left(\frac{S_x}{(G \times J)^2} \right) \times \frac{I_w}{ly} \\
 &= 4 \times \left(\frac{472000}{(80000 \times 169642,6667^2)} \right) \times \\
 &\quad \frac{1,41376 \times 10^{11}}{16000000} \\
 &= 9,05748 \times 10^{-11} \text{ mm}^2/\text{N}^2 \\
 Z_x &= 513000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$Z_y = 243000 \text{ mm}^3$$

- o Cek keamanan profil

$$\text{Panjang elemen miring terhadap sumbu X} = 33108,1 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang elemen terhadap sumbu Y} = 1200 \text{ mm}$$

$$\text{Momen maksimum akibat beban terfaktor } (M_u) = 14388308,73 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen pada } \frac{1}{4} \text{ bentang } (M_A) = 3368926,946 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen pada } \frac{1}{2} \text{ bentang } (M_B) = 4063686,545 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen pada } \frac{3}{4} \text{ bentang } (M_C) = 8261328,121 \text{ Nmm}$$

$$\text{Gaya aksial akibat beban terfaktor } (P_u) = 3600,67 \text{ N}$$

$$\text{Gaya geser akibat beban terfaktor } (V_u) = 10072,0521 \text{ N}$$

Data diatas bisa di dapatkan menggunakan MIDAS-GEN.

Menurut SNI 1729:2020, C_b dapat di hitung menggunakan rumus berikut :

$$C_b = \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks}+3M_A+4M_B+3M_C}$$

$$C_b = \frac{12,5(14388308,73)}{2,5(14388308,73)+3(3368926,946)+4(4063686,545)+3(8261328,121)}$$

$$= 2,0645$$

$$C = 1$$

- o Momen nominal pengaruh lokal buckling

$$b = \frac{bf}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$t = tf = 12 \text{ mm}$$

$$K = 0,65 \text{ (jepit)}$$

Kelangsingan penampang sayap :

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{100}{2 \times 12} = 4,167$$

$$\lambda_p = 1,76 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,76 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 10,970$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{E}{fy}} = 28,868$$

Karena di dapatkan $\lambda < \lambda_p$ maka sayap penampang dinyatakan kompak

Kelangsingan penampang badan :

$$\lambda = \frac{h}{tw} = 15,667$$

$$\lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 108,542$$

$$\lambda_r = 5,7 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 5,7 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 164,545$$

Karena di dapatkan $\lambda < \lambda_p$ maka badan penampang dinyatakan kompak.

Berdasarkan perhitungan di atas profil IWF dinyatakan kompak didapatkan dari hasil dari $\lambda < \lambda_p$ pada penampang sayap dan penampang badan. Maka dapat dinyatakan $M_n = M_p$.

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = F_y \\ &\quad \times Z_x \\ &= 240 \times 513000 \\ &= 123120000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- o Momen nominal pengaruh Lateral Buckling

$$r_{ts} = \frac{bf}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{1}{6} \times \frac{ht_w}{b_f t_f}\right)}}$$

$$= \frac{200}{\sqrt{12 \times (1 + \frac{1}{6} \times \frac{200 \times 8}{200 \times 12})}}$$

$$= 54,7723$$

$$L = 1200 \text{ mm}$$

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \times \sqrt{\frac{J_C}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_C}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2}}$$

$$= 1,95 \times 54,7723 \times \frac{200000}{0,7 \times 240}$$

$$\times \sqrt{\frac{169642,6667 \times 1}{472000 \times 188} + \sqrt{\left(\frac{169642,6667 \times 1}{472000 \times 188}\right)^2 + 6,76 \times \left(\frac{0,7 \times 240}{200000}\right)^2}}$$

$$= 85139070524,962 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 1,76 \times 5020 \times \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$= 255050,255 \text{ mm}$$

Didapatkan hasil dari profil IWF yaitu $L < L_p$ maka pada profil ini tidak terjadi LTB. $M_n = M_p$.

$$M_p = F_y \times Z_x$$

$$= 240 \times 513000$$

$$= 255050,255 \text{ Nmm}$$

- Momen lentur

$$M_n = 123120000$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times 123120000$$

$$= 110808000 \text{ Nmm}$$

- o Tekan aksial

$$\frac{L_{cx}}{r_x} = \frac{3310,1}{8620} = 3,841$$

$$\frac{L_{cy}}{r_y} = \frac{1200}{5020} = 0,239$$

$$\text{Max } \frac{L_c}{r} = 3,841$$

$$\frac{L_c}{r} \geq 4,17 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,17 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,966$$

$$3,841 \geq 135,966$$

Terjadi inelastix buckling, maka untuk menghitung F_{cr} digunakan

rumus, yaitu $F_{cr} = \left[(0,658) \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$

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

$$= \frac{\pi^2 \times 200000}{(3,841)^2}$$

$$= 133806,052$$

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

$$= \left[(0,658) \frac{240}{133806,052} \right] 240$$

$$= 239,820 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} A_g$$

$$= 239,820 \times 6353$$

$$= 1523757,778 \text{ N}$$

$$\Phi P_n = 0,9 P_n$$

$$= 0,9 \times 1523757,778$$

$$= 1371218,200 \text{ N}$$

- Interaksi aksial tekan dan momen lentur

$$\frac{P_u}{\Phi P_n} = \frac{3600,67}{1371218,200} = 0,003 < 0,2$$

Maka dapat digunakan rumus berikut :

$$\begin{aligned} \frac{P_u}{2\Phi P_n} + \frac{M_u}{\Phi M_n} &= \frac{3600}{2 \times 1371218,200} + \frac{14388308,73}{110808000} \\ &= 0,1312 < 1 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

- Geser

$$kv = 5,34$$

$$\begin{aligned} \frac{h}{tw} = \frac{188}{8} = 23,5 &\leq 1,1 \sqrt{kv \frac{E}{F_y}} = 1,1 \times \sqrt{5,34 \times \frac{200000}{240}} \\ &= 73,379 \text{ (sudah memenuhi syarat)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_w &= t_w h_t \\ &= 8 \times 200 \\ &= 1600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,60 F_y A_w \\ &= 0,60 \times 250 \times 1600 \\ &= 230400 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi V_n &= 0,9 V_n \\ &= 0,9 \times 230400 \\ &= 207360 > V_u = 10072,05 \text{ N (aman)} \end{aligned}$$

- Interaksi geser dan lentur

$$\begin{aligned} \frac{M_u}{\Phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\Phi V_n} &\leq 1,375 \\ \frac{14388308,73}{110808000} + 0,625 \times \frac{10072,05}{207360} &\leq 1,375 \\ 0,160 &\leq 1,375 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

2.5.5 Perencanaan Sambungan Atap

○ *Base Plate*

Data :

$$\text{Profil Baja} = \text{IWF } 200 \times 200 \times 8 \times 12$$

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

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

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$t_f = 12 \text{ mm}$$

Digunakan sambungan las untuk penyambungan *base plate*, yang berguna untuk menyambung dari kolom dari beton, ke kolom atap yang menggunakan baja.

$$\text{Tebal} = 3 \text{ mm}$$

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

$$F_u = 370 \text{ Mpa}$$

Panjang las:

$$\begin{aligned} L_{w1} &= (2 \times h_t) \\ &= (2 \times 200) + (4 \times 96) \\ &= 784 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{w2} &= (2 \times h_t) \\ &= (2 \times 176) \\ &= 352 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{w1} + L_{w2} &= 784 + 352 \\
 &= 1136 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari data-data yang didapat di atas, kemudian dimasukkan kedalam aplikasi *software* pembantu perhitungan atap, sehingga didapat nilai-nilai seperti di bawah ini :

$$M_u = 143\,883\,08,7 \text{ Nmm}$$

$$P_u = 3600,6681 \text{ N}$$

$$V_u = 10\,072,0521 \text{ N}$$

Perhitungan gaya geser :

$$\begin{aligned}
 V_{n1} &= 0,75 (0,6 \times F_u \times 0,707 \times b_f \times L_{w1}) \\
 &= 0,75 (0,6 \times 370 \times 0,707 \times 4 \times 784) \\
 &= 369\,155,808 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{n2} &= 0,75 (0,6 \times F_u \times 0,707 \times b_f \times L_{w2}) \\
 &= 0,75 (0,6 \times 370 \times 0,707 \times 4 \times 352) \\
 &= 165\,743,424 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_{n1} + V_{n2} \\
 &= 369\,155,808 + 165\,743,424 \\
 &= 534\,899,232 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena nilai $V_n > V_u$, maka **AMAN!**

o **Sambungan Atap menggunakan Baut**

Data :

Profil Baja = IWF 200 × 200 × 8 × 12

h_t = 200 mm

b_f = 200 mm

t_w = 8 mm

t_f = 12 mm

P_u = -2,7039 kN

V_u = -6,4435 kN

Sudut atap = 7°

$P_u \sin$ = $P_u \sin (7^\circ)$
 = -2,7039 $\sin (7^\circ)$

= -0,3295 kN

$P_u \cos$ = $P_u \cos (7^\circ)$

= -2,7039 $\cos (7^\circ)$

= -2,6837 kN

$V_u \sin$ = $V_u \sin (7^\circ)$

= -6,4435 $\sin (7^\circ)$

= -0,7853 kN

$V_u \cos$ = $V_u \cos (7^\circ)$

= -6,4435 $\cos (7^\circ)$

$$= -0,7853 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_u v &= P_u \sin \alpha + V_u \cos \alpha \\ &= 0,3295 + 6,3955 \\ &= 6,7249 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u h &= P_u \cos \alpha + V_u \sin \alpha \\ &= 2,6837 + 0,7853 \\ &= 1,8984 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk sambungan atap menggunakan baut, jenis baut yang digunakan adalah **A325**, dengan data baut sebagai berikut :

$$\begin{aligned} d_b &= 16 \text{ mm} \\ F_{nt} &= 620 \text{ Mpa} \\ F_{nv} &= 372 \text{ Mpa} \\ A_b &= 0,25 \times p \times d_b^2 \\ &= 0,25 \times p \times 16^2 \\ &= 201,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times F_{nv} \times A_b \\ &= 0,75 \times 372 \times 201,062 \\ &= 56096,2784 \text{ N} = 56,096 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek geser baut, $\phi R_n > P_u v$, maka **AMAN!**

Perhitungan kuat tumpu :

$$\phi R_n = 0,74 \times 2,4 \times d_b \times F_u \times \text{tebal plat}$$

$$= 0,74 \times 2,4 \times 16 \times 370 \times 12$$

$$= 126\,167,04 \text{ N} = 126,167 \text{ kN}$$

Cek geser baut, $\phi Rn > Pu v$, maka **AMAN!**

Baut pengaruh gaya Aksial dan Geser

$$\begin{aligned} Pu v \text{ 1 baut} &= \frac{Pu v}{n} \\ &= \frac{6,7249}{6} \\ &= 1,1208 \text{ kN} = 1120,8 \text{ N} \\ f_{rv} &= \frac{Pu v \text{ 1 baut}}{A_b} \\ &= \frac{1120,8}{201,062} \\ &= 5,575 \text{ Mpa} \\ f_{nt} &= 1,3 \times f_{nt} \times \frac{F_{nt}}{0,75 \times F_{nv}} \times f_{rv} \\ &= 1,3 \times 620 \times \frac{620}{0,75 \times 372} \times 5,575 \\ &= 793,612 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

nilai f_{nt} digunakan, merupakan yang terkecil dari f_{nt} dan f_{nt} , sehingga, nilai yang digunakan adalah 620 Mpa.

$$\begin{aligned} \phi Rn &= 0,75 \times f_{nt} \times A_b \\ &= 0,75 \times 620 \times 210,062 \\ &= 93\,493,7974 \text{ N} = 93,494 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek geser baut, $\phi Rn > Pu v$, maka **AMAN!**

2.6 Perencanaan Tangga

2.6.1 Perencanaan dimensi tangga

Perencanaan tangga yang dilakukan oleh penulis mengacu pada suatu syarat yaitu (SNI 8900 : 2020 Bab 13). Pada tahap awal perencanaan tangga langkah pertama yang perlu dilakukan yaitu menentukan tinggi anak tangga

(*Optrade*) serta lebar anak tangga (*Antrade*) kemudian dapat dicari dimensi-dimensi yang lainnya. Perhitungan tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

Tangga 1 :

$$Optrade = 16,7 \quad \text{cm syarat : } 16 \leq O \leq 20$$

$$Antrade = 27,7 \quad \text{cm syarat : } 26 \leq A \leq 30$$

$$\text{Jumlah anak tangga} = \frac{h1}{Optrade} = \frac{3000}{167} = 18 \text{ bh}$$

$$\text{Lebar bordes : } bo = 5200 - (130 \times 300) = 1300 \text{ mm}$$

$$\text{Kemiringan tangga} = \tan \alpha = \frac{Optrade}{Antrade} = \frac{167}{277} = 31^\circ$$

$$\text{Tebal pelat (asumsi) : } tp = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi beban merata} = t' = \frac{(0,5 \times O \times A)}{\sqrt{O^2 + A^2}} = \frac{(0,5 \times 167 \times 277)}{\sqrt{180^2 + 300^2}} = 7,1384 \text{ cm}$$

$$h = tp + t'$$

$$= 15 + 7,1384 = 22,1384 \text{ cm}$$

$$h' = \frac{tp}{\cos \alpha} + \frac{Optrade}{2}$$

$$= \frac{15}{\cos 31} + \frac{16,7}{2} = 25,83 \text{ cm} = 0,2583 \text{ m}$$

2.6.2 Pembebanan pada pelat tangga

Setelah menentukan dimensi yang dibutuhkan untuk merencanakan sebuah tangga, langkah selanjutnya yang harus dilakukan ialah melakukan perhitungan terhadap pembebanan tangga. Pembebanan tangga dibagi menjadi dua yaitu pembebanan pada tangga dan bordes yang masing-masing perhitungannya terdiri dari beban mati dan beban hidup. Perhitungan masing-masing pembebanan dapat diuraikan sebagai berikut :

Tangga 1 :

- Hitungan beban per meter terhadap tangga

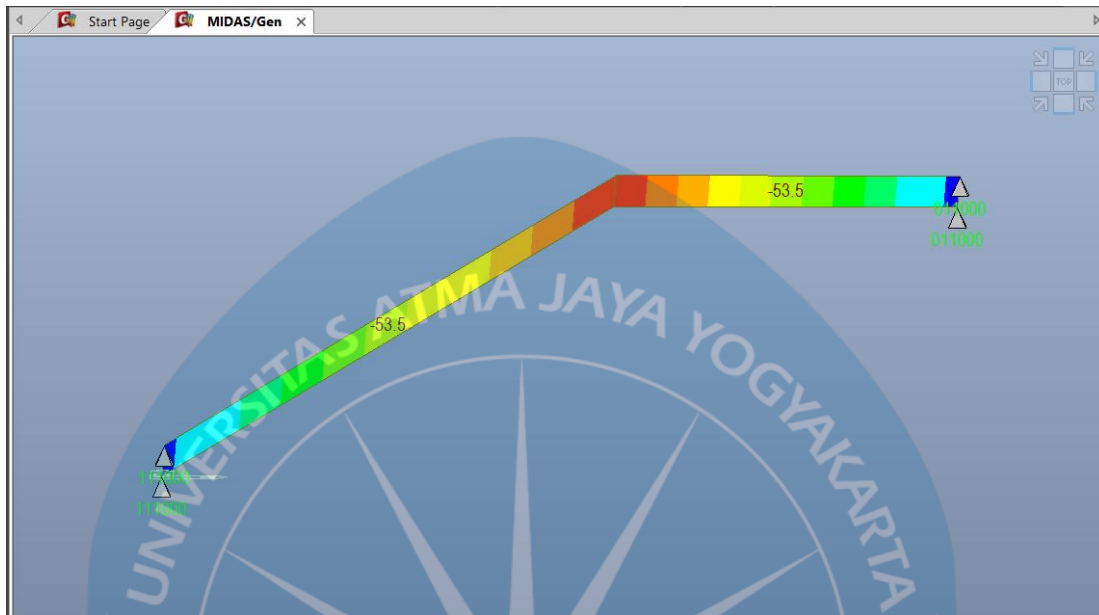
Beban mati :

Berat pelat + anak tangga	$= 0,2583 \times 24$	$= 6,2002 \text{ kN/m}^2$
Berat ubin dan spesi	$= 0,05 \times 21$	$= 1,05 \text{ kN/m}^2$
Berat railing (diperkirakan)	$= 1$	$= 1 \text{ kN/m}^2$
<hr/>		
+		
Total		$= 8,25 \text{ kN/m}^2$
Beban hidup		$= 4,79 \text{ kN/m}^2$
• Hitungan beban permeter pada bordes tangga		
Beban mati :		
Berat sendiri bordes	$= 0,15 \times 24$	$= 3,6 \text{ kN/m}^2$
Berat ubin dan spesi	$= 0,05 \times 21$	$= 1,05 \text{ kN/m}^2$
Berat railing (diperkirakan)	$= 1$	$= 1 \text{ kN/m}^2$ +
<hr/>		
Total		$= 5,65 \text{ kN/m}^2$
Beban hidup		$= 4,79 \text{ kN/m}^2$

2.6.3 Analisis Gaya Dalam

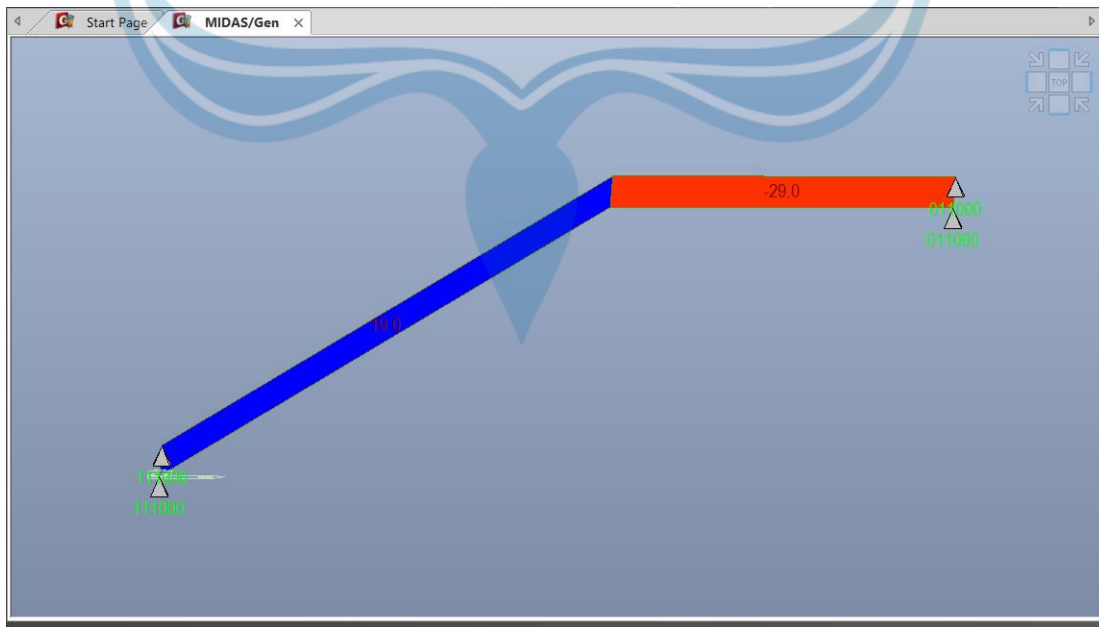
Setelah mendapatkan hasil dari beban masing-masing tangga langkah selanjutnya yang dilakukan ialah melakukan pemodelan terhadap setiap tangga menggunakan aplikasi *Midas-Gen*. Dari hasil analisis dengan *software Midas-Gen* diperoleh momen dan gaya dalam BMD dan SFD pada Gambar 2.4 Analisis gaya dalam BMD dan Gambar 2.5 Analisis gaya dalam SFD.

Bending Moment Diagram



Gambar 2.4 Analisis gaya dalam BMD

Shear Force Diagram



Gambar 2.5 Analisis gaya dalam SFD

2.6.4 Penulangan Pada Tangga

Penulangan tangga diperlukan untuk memberikan kekuatan serta stabilitas pada tangga. Penulangan sangat penting karena tangga merupakan salah satu bagian vital yang berfungsi untuk mengakses lantai yang lebih tinggi. Perhitungan penulangan akan dilakukan pada tangga 1 sebagai contoh perhitungan dan pada akhir perhitungan akan dilakukan penyimpulan terhadap kebutuhan tulangan pada tangga 1 dan tangga 2. Perhitungan penulangan dapat diuraikan sebagai berikut :

a. Lapangan dan tumpuan

$$\begin{aligned} \mu_u &= M_{\max} \\ &= 53,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Direncanakan :

- Tulangan pokok = D13
- Tulangan susut = P10
- f_y tulangan = 420 Mpa
- Mutu beton = 30 Mpa : $b_w = 1000 \text{ mm}$; $s_b = 20 \text{ mm}$

$$d = 221,3836 - (20 + 13 \times 0,5) = 207,884 \text{ mm} = 0,207884 \text{ m}$$

$$R_n = \frac{\mu_u}{\phi \times b_w \times d^2} = \frac{53,5 \times 10^{-3}}{0,9 \times 1 \times 0,207884^2} = 1,3755 \text{ kN/m}^2$$

$$\rho_{\min} = 0,0018$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 35}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,3755}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,0034 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= b = 0,85 - \left(\frac{0,05 \times (f'_c - 28)}{7} \right) \\
 &= 0,85 - \left(\frac{0,05 \times (30 - 28)}{7} \right) = 0,8 \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times b \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{30}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,01741
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$, maka digunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,0034$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \times b_w \times d \\
 &= 0,0034 \times 1000 \times 207,884 \\
 &= 700,2604 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak tulangan} &= \frac{b_w \times \text{luas tulangan D13}}{\text{As}} \\
 &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{700,2604} = 189,574 \text{ mm} = 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pakai} &= \frac{b_w \times \text{luas tulangan D13}}{\text{Jarak tulangan}} \\
 &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{150} \\
 &= 884,8819 \text{ m}^2 > 700,2604 \text{ m}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan D13 – 150 mm

b. Tulangan susut

Digunakan tulangan P10

$$\begin{aligned}
 \text{As min} &= \rho_{\min} \times b_w \times h \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 221,3836 = 442,7673 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{b_w \times \text{luas tulangan P10}}{\text{Asmin}}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{442,7673} = 177,384 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{As pakai} = \frac{bw \times \text{luas tulangan P10}}{\text{Jarak tulangan}}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{150}$$

$$= 523,5988 \text{ mm}^2 > 442,7673 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan P10 – 150 mm

c. Kontrol geser

$$V_u = 29 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times bw \times d$$

$$= \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 1000 \times 207,8836 \right) \times 10^{-3}$$

$$= 189,7709 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 189,7709$$

$$= 142,3282 \text{ kN}$$

$V_u < \phi V_c$ (Tidak perlu tulangan geser)

2.7 Perencanaan Pelat Lantai

2.7.1 Perencanaan Plat 1 Arah

• Data-data dasar :

- F'_c = 30 Mpa
- F_y = 420 Mpa
- Selimut Beton = 20 mm
- D tulangan = 13 mm
- Tebal plat = 125 mm
- Lebar plat (b) = 1000 mm
- A_g = $h_{\text{plat}} \times 1000$
= 125×1000

$$= 125\,000 \text{ mm}^2$$

- D $= h_{\text{plat}} - D \text{ selimut} - \frac{Dtul}{2}$

$$= 125 - 20 - \frac{13}{2}$$

$$= 98,5 \text{ mm}$$
- DL $= 10,88 \text{ kN/m}^2$
- LL $= 7,00 \text{ kN/m}^2$
- Qu 1 (1,4 DL) $= 1,4 \times 10,88$

$$= 15,2355 \text{ kN/m}^2$$
- Qu 2 (1,2DL + 1,6LL) $= 1,2 \times 10,88 + 1,6 \times 7,00$

$$= 24,259 \text{ kN/m}^2$$
- Bi $= 0,27 \text{ m}$
- Ba $= 0,24 \text{ m}$
- Ln $= L - \frac{bi}{2} - \frac{ba}{2}$

$$= 1,7075 - \frac{0,27}{2} - \frac{0,24}{2}$$

$$= 1,4645 \text{ m}$$
- $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'c - 28)}{7}$

$$= 0,8357 \text{ (SNI-2847, tabel 22.2.2.4.3)}$$
- $\rho \text{ maks} = 0,36 \times \frac{f'c \times \beta_1}{f_y}$

$$= 0,36 \times \frac{30 \times 0,8357}{420}$$

$$= 0,0215$$
- $\rho \text{ min} = \frac{1,4}{f_y}$

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

$$= 0,0033$$

- Cek jenis plat :

Plat satu arah harus memenuhi syarat sebagai berikut :

$$L_y / l_x > 2$$

$$L_y = 3,425 \quad \text{m}$$

$$L_x = 1,7075 \quad \text{m}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = 2,0059 > 2, \text{ Plat Satu arah}$$

- Penetapan tebal plat (h) dan periksa tebal minimum :

- $l = 1,7075 \quad \text{m}$

- $\frac{l}{24} = \frac{1,7075}{24} = 0,07115 \text{ m (SNI 2847-2019, 7.7.3.3.1)}$

$$h > h_{\min}, \text{ digunakan } h = 125 \text{ mm}$$

- Perhitungan momen pada tumpuan dan lapangan plat :

- $M_u^+ \text{ tump} = \frac{1}{24} \times q_u \times L_n^2$
 $= \frac{1}{24} \times 24,259 \times 1,4565^2$
 $= 2,1443 \quad \text{kNm}$

- $M_u \text{ lap} = \frac{1}{11} \times q_u \times L_n^2$
 $= \frac{1}{11} \times 24,259 \times 1,4565^2$
 $= 4,6786 \quad \text{kNm}$

- $M_u^- \text{ tump} = \frac{1}{10} \times q_u \times L_n^2$
 $= \frac{1}{10} \times 24,259 \times 1,4565^2$
 $= 5,1464 \quad \text{kNm}$

(SNI 2847-2019, tabel 6.5.2)

- Kuat Geser Beton :

$$\begin{aligned} \circ \text{ Gaya Geser (Vu)} &= \frac{1,15 \times qu \times Ln}{2} \\ &= \frac{1,15 \times 24,259 \times 1,4565}{2} \\ &= 20,3169 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

(SNI 2847-2019, tabel 6.5.4)

$$\begin{aligned} \circ V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \times 1000 \times 98,5 \\ &= 91716,14 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \phi V_c &= 0,75 \times V_c \\ &= 0,75 \times 91716,14 \\ &= 68787,11 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c \geq Vu, \quad \text{OK!}$$

- Koefisien Tahanan Lentur :

$$K = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{Mu}{\phi bd^2}$$

$$\begin{aligned} K \text{ tumpuan +} &= \frac{2,1443 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 98,5} \\ &= 0,2456 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K \text{ lapangan} &= \frac{4,6786 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 98,5} \\ &= 0,5358 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K \text{ tumpuan -} &= \frac{5,1464 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 98,5} \\ &= 0,5894 \end{aligned}$$

- Rasio Penulangan Plat Tumpuan :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{tumpuan}^+} &= \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,2456}{0,85 \times 30}}\right) \\ &= 0,0006 < \rho_{\text{min}}, \text{ pakai } (\rho_{\text{min}})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{lapangan}} &= \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,5358}{0,85 \times 30}}\right) \\ &= 0,0013 < \rho_{\text{min}}, \text{ pakai } (\rho_{\text{min}})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{tumpuan}^-} &= \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,5894}{0,85 \times 30}}\right) \\ &= 0,0014 < \rho_{\text{min}}, \text{ pakai } (\rho_{\text{min}})\end{aligned}$$

- Kebutuhan Luas Tulangan Tarik :

$$A_{\text{Sreq}} \geq A_{\text{Smin}} \quad (\text{SNI 2847-2019 tabel 7.6.1.1})$$

Baja digunakan merupakan baja tulangan ulir, sehingga A_{Smin} merupakan nilai terbesar dari :

$$\begin{aligned}\text{a. } \frac{0,018 \times 420}{F_y} \times A_g &= \frac{0,018 \times 420}{420} \times 125000 \\ &= 225 \quad \text{mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{b. } 0,0014 \times A_g &= 0,0014 \times 12500 \\ &= 175 \quad \text{mm}^2\end{aligned}$$

A_{Smin} dipakai adalah nilai terbesar, maka digunakan 225 mm^2

$$\begin{aligned}A_{\text{Sreq tumpuan}^+} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 1000 \times 98,5\end{aligned}$$

$$= 328,3333 \text{ mm}^2$$

$A_{S_{req}} > A_{S_{min}}$, maka $A_{S_{req}}$ digunakan!

$$A_{S_{req}} \text{ lapangan} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0033 \times 1000 \times 98,5$$

$$= 328,3333 \text{ mm}^2$$

$A_{S_{req}} > A_{S_{min}}$, maka $A_{S_{req}}$ digunakan!

$$A_{S_{req}} \text{ tumpuan} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0033 \times 1000 \times 98,5$$

$$= 328,3333 \text{ mm}^2$$

$A_{S_{req}} > A_{S_{min}}$, maka $A_{S_{req}}$ digunakan!

- Tulangan Terpasang dan Cek Spasi Tulangan

- Tulangan Lentur :

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s \text{ ise}}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{328,3333}$$

$$= 404,2608 \text{ mm}$$

Cek syarat $3h < s < 450$, OK!

Tulangan dipakai = D13-450

- Tulangan Susut :

$$A_{sh_{req}} = A_{sh_{min}} = 225 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s \text{ ise}}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{225}$$

$$= 349,0659 \text{ mm}$$

Cek syarat $s < 5h$ dan $s < 450$, OK!

Tulangan Dipakai = P10-350

2.7.2 Perencanaan Plat 2 Arah

- Data-data dasar :

- F'_c = 30 Mpa

- F_y = 420 Mpa

- Selimut Beton = 20 mm

- D tulangan = 13 mm

- Tebal plat (asum) = 125 mm

- Lebar plat (b) = 1000 mm

- A_g = $h_{\text{plat}} \times 1000$
 $= 125 \times 1000$
 $= 125\,000 \text{ mm}^2$

- D_x = $h_{\text{plat}} - D_{\text{selimut}} - \frac{D_{\text{tul}}}{2}$
 $= 125 - 20 - \frac{13}{2}$
 $= 98,5 \text{ mm}$

- D_y = $h_{\text{plat}} - D_{\text{selimut}} - D_{\text{tul}} - \frac{D_{\text{tul}}}{2}$
 $= 125 - 20 - \frac{13}{2}$
 $= 85,5 \text{ mm}$

- DL = 10,88 kN/m²

- LL = 7,00 kN/m²

- $Q_u 1 (1,4 \text{ DL})$ = $1,4 \times 10,88$
 $= 15,2355 \text{ kN/m}^2$

- $Q_u 2 (1,2\text{DL} + 1,6\text{LL})$ = $1,2 \times 10,88 + 1,6 \times 7,00$
 $= 24,259 \text{ kN/m}^2$

- B = 0,27 m
- H = 0,53 m
- Ln = $L - \frac{bi}{2} - \frac{ba}{2}$
 $= 3,225 - \frac{0,27}{2} - \frac{0,53}{2}$
 $= 2,825 \text{ m}$
- $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f'c - 28)}{7}$
 $= 0,8357$ (SNI-2847, tabel 22.2.2.4.3)
- $\rho \text{ maks} = 0,36 \times \frac{f'c \times \beta_1}{f_y}$
 $= 0,36 \times \frac{30 \times 0,8357}{420}$
 $= 0,0215$
- $\rho \text{ min} = \frac{1,4}{f_y}$
 $= \frac{1,4}{420}$
 $= 0,0033$
- Hw = H – tebal plat asumsi
 $= 533,3333 - 125$
 $= 408,333 \text{ mm}$
- Be1 = $b_w + 2h_w$
 $= 266,6667 + 2 \times 408,3333$
 $= 1083,3333 \text{ mm}$
- Be2 = $b_w + 8 \text{ tebal plat}$
 $= 266,6667 + 8 \times 125$
 $= 1267,6667 \text{ mm}$

- Cek Jenis Pelat :

Supaya bisa masuk kedalam jenis plat 2 arah, maka syarat berikut harus terpenuhi :

$$L_y / L_x < 2$$

$$L_y = 3,925 \text{ m}$$

$$L_x = 3,225 \text{ m}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = 1,2170 < 2, \text{ Pelat Dua arah}$$

- Penetapan tebal plat (h) dan periksa tebal minimum :

$$\begin{aligned} Y1 &= \frac{h_w}{2} \\ &= \frac{408,3333}{2} \\ &= 204,1667 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y2 &= \frac{h_f}{2} + h_w \\ &= \frac{125}{2} + 408,333 \\ &= 595,8333 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A1 &= h_w \times b_w \\ &= 408,3333 \times 266,6667 \\ &= 142222,22 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A2 &= b_e \times h_f \\ &= 1083,33 \times 125 \\ &= 135416,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= \frac{A1 \times y1 + A2 \times y2}{A1 + A2} \\ &= \frac{142222,22 \times 204,1667 + 135416,67 \times 595,8333}{142222,22 + 135416,67} \end{aligned}$$

$$= 395,1997 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan inersia balok dan momen pada tumpuan dan lapangan plat:

- Inersia Pada Balok :

$$\begin{aligned} I_b &= \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 + A1 \times (y - y1)^2 + \\ &\quad \frac{1}{12} \times be \times hw^3 + A1 \times (y - y1)^2 \\ &= 14\,188\,760\,000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Inersia Pada Plat :

$$\begin{aligned} I_{p1} &= \frac{1}{12} \times Ly \times hf^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 3925 \times 125^3 \\ &= 638\,834\,635,4 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{p2} &= \frac{1}{12} \times Lx \times hf^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 3225 \times 125^3 \\ &= 524\,902\,343,8 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Rasio Kekakuan Plat :

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{I_b}{I_{p1}} \\ &= \frac{14\,188\,760\,000}{638\,834\,635,4} \\ &= 22,2104 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \frac{I_b}{I_{p2}} \\ &= \frac{14\,188\,760\,000}{524\,902\,343,8} \\ &= 27,0312 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{fm} &= \frac{\sum \alpha_{fm}}{n} = \frac{22,2104 + 27,0312}{2} \\ &= 24,6208 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = 1,2170$$

$$\begin{aligned} \circ h_{\min} &= \frac{\ln\left(0,8 + \frac{F_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \\ &= \frac{3,925\left(0,8 + \frac{420}{1400}\right)}{36 + 9 \times 1,2170} \\ &= 91,9527 \text{ mm} < 125, \\ &\text{maka } h = 125 \text{ mm dipakai!} \end{aligned}$$

- Momen Terfaktor :
setelah didapat nilai L_y/L_x , kemudian digunakan koefisien yang sesuai yang ada pada Tabel 13.3.1, sehingga untuk perhitungan momen menjadi :

$$\begin{aligned} M_{ix} &= 0,001 \times q_u \times l_x^2 \times k_{Mix} \\ &= 0,001 \times 24,529 \times 3,225^2 \times 28 \\ &= 7,0646 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{iy} &= 0,001 \times q_u \times l_x^2 \times k_{Miy} \\ &= 0,001 \times 24,529 \times 3,225^2 \times 20 \\ &= 5,0462 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= 0,001 \times q_u \times l_x^2 \times k_{Mtx} \\ &= 0,001 \times 24,529 \times 3,225^2 \times 64 \\ &= 16,1478 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= 0,001 \times q_u \times l_x^2 \times k_{Mty} \\ &= 0,001 \times 24,529 \times 3,225^2 \times 56 \\ &= 14,1293 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

- Kuat Geser Beton:

$$\begin{aligned} \circ \text{ Gaya Geser (Vu)} &= \frac{1,15 \times q_u \times Ln}{2} \\ &= \frac{1,15 \times 24,259 \times 2,825}{2} \end{aligned}$$

$$= 39,4057 \quad \text{kN}$$

(SNI 2847-2019, tabel 6.5.4)

$$\begin{aligned} \circ V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f'c} \text{ bw d} \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \times 1000 \times 98,5 \\ &= 91716,14 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \phi V_c &= 0,75 \times V_c \\ &= 0,75 \times 91716,14 \\ &= 68787,11 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c \geq V_u, \quad \text{OK!}$$

- Koefisien Tahanan Lentur:

$$K = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{Mu}{\phi bd^2}$$

$$\begin{aligned} K_{ix} &= \frac{7,0646 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 98,5} \\ &= 3,0339 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{iy} &= \frac{5,0462 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 98,5} \\ &= 2,8762 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{tx} &= \frac{16,1478 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 98,5} \\ &= 6,9347 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{ty} &= \frac{14,1293 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 98,5} \\ &= 8,0533 \end{aligned}$$

- Rasio Penulangan Plat Tumpuan:

$$\begin{aligned} \rho_{ix} &= \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 k}{0,85 f'c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,0339}{0,85 \times 30}} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \rho_{\min} < 0,0077 < \rho_{\max}, \text{ pakai } (\rho_{ix}) \\
 \rho_{iy} &= \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}}\right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,8762}{0,85 \times 30}}\right) \\
 &= \rho_{\min} < 0,0073 < \rho_{\max}, \text{ pakai } (\rho_{iy}) \\
 \rho_{tx} &= \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}}\right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 6,9347}{0,85 \times 30}}\right) \\
 &= \rho_{\min} < 0,0197 < \rho_{\max}, \text{ pakai } (\rho_{tx}) \\
 \rho_{ty} &= \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}}\right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,0533}{0,85 \times 30}}\right) \\
 &= 0,0239 > \rho_{\max}, \text{ pakai } (\rho_{\max})
 \end{aligned}$$

- Kebutuhan Luas Tulangan Tarik:

$$A_{S_{\text{req}}} \geq A_{S_{\text{min}}} \quad (\text{SNI 2847-2019 tabel 7.6.1.1})$$

Baja digunakan merupakan baja tulangan ulir, sehingga $A_{S_{\text{min}}}$ merupakan nilai terbesar dari :

$$\begin{aligned}
 \text{c. } \frac{0,018 \times 420}{F_y} \times A_g &= \frac{0,018 \times 420}{420} \times 125\,000 \\
 &= 225 \quad \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. } 0,0014 \times A_g &= 0,0014 \times 125\,000 \\
 &= 175 \quad \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_{S_{\text{min}}}$ dipakai adalah nilai terbesar, maka digunakan 225 mm^2

$$A_{S_{\text{req ix}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0077 \times 1000 \times 98,5$$

$$= 759,796 \quad \text{mm}^2$$

$A_{S_{req}} > A_{S_{min}}$, maka $A_{S_{req}}$ digunakan!

$$A_{S_{req} \text{ iy}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0073 \times 1000 \times 98,5$$

$$= 622,882 \quad \text{mm}^2$$

$A_{S_{req}} > A_{S_{min}}$, maka $A_{S_{req}}$ digunakan!

$$A_{S_{req} \text{ tx}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0197 \times 1000 \times 98,5$$

$$= 1941,51 \quad \text{mm}^2$$

$A_{S_{req}} > A_{S_{min}}$, maka $A_{S_{req}}$ digunakan!

$$A_{S_{req} \text{ ty}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0215 \times 1000 \times 98,5$$

$$= 1837,38 \quad \text{mm}^2$$

$A_{S_{req}} > A_{S_{min}}$, maka $A_{S_{req}}$ digunakan!

- Tulangan Terpasang dan Cek Spasi Tulangan

- Tulangan Lentur :

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s \text{ ise}}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{759,796}$$

$$= 174,6946 \quad \text{mm}$$

Cek syarat $s < 3h$ & < 450 , OK!

Tulangan dipakai = D13-200

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{As \text{ ise}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{622,882} \\
 &= 213,0938 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat $s < 3h$ & < 450 , OK!

Tulangan dipakai = D13-200

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{As \text{ ise}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{1941,51} \\
 &= 68,3655 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat $s < 3h$ & < 450 , OK!

Tulangan dipakai = D13-100

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{As \text{ ise}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{1837,38} \\
 &= 72,2400 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat $s < 3h$ & < 450 , OK!

Tulangan dipakai = D13-100

o Tulangan Susut :

$$Ash_{req} = Ash_{min} = 0,002 \times 125\,000 = 250 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{As \text{ ise}} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{250} \\
 &= 314,1592 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat $s < 5h$ dan $s < 450$, OK!

Tulangan Dipakai = P10-300

2.8 Penulangan Balok

2.8.1 Balok Induk

Data-data :

- b balok = 0,4 m
- h balok = 0,55 m
- cover = 0,04 m
- tulangan sengkang = 0,01 m
- tulangan utama = 0,022 m
- f'_c = 30 Mpa
- F_y = 420 Mpa
- L = 4 m
- L_n = 3,35 m
- C1=C2 = 0,65 m
- F_{ys} = 280 Mpa
- d (h-cover-sk-tul/2) = 0,489 m
- β_1 = $0,85 - 0,05 \times \left(\frac{30-28}{7}\right)$
= 0,8357

- Cek Batasan Dimensi Balok

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.6.2.1, balok harus memenuhi batasan dimensi sebagai berikut :

- a. Bentang bersih L_n , harus minimal $4d$:

$$d = 489 \text{ mm} \leq \frac{3350 \text{ mm}}{4}$$

OK!

- b. Lebar penampang bw harus sekurang-kurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm :

$$b = 400 \text{ mm} \geq \text{nilai terbesar dari } (0,3 \times 550 \text{ mm dan } 250 \text{ mm})$$

OK !

- c. Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75 c_1$ pada masing-masing sisi kolom :

$$b = 400 \text{ mm} < C_1=C_2=650 \text{ mm}, \quad \text{OK!}$$

- **Perhitungan Momen Balok**

Hasil momen dari aplikasi *Midas Gen 2022*, didapati momen pada **BI-1 40 x 55** seperti pada Tabel 2.15 Momen BI-1 40x55.

Tabel 2.15 Momen BI-1 40x55

	Tumpuan kiri (kNm)	Lapangan (kNm)	Tumpuan kanan (kNm)
Negatif (-)	510.57	241.19	510.57
Positif (+)	668.35	351.8	668.35

2.8.2 Penulangan Balok Induk Longitudinal

- **Tumpuan Kiri (-)**

$$Mu^- = 510,57 \text{ kNm}$$

- **Menghitung Momen Nominal**

$$\begin{aligned} M_{n.req} &= Mu / \phi \\ &= 510,57 / 0,9 \\ &= 567,3 \text{ kNm} = 567.300.000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- **Menghitung Tinggi Balok Tekan Beton dan Letak Garis Netral a dan c**

$$\begin{aligned}
 a &= d - \sqrt{d^2 - \left(\frac{2 |M_{n.req}|}{0,85 \times F'c \times b}\right)} \\
 &= 439 - \sqrt{439^2 - \left(\frac{2 |567\,300\,000|}{0,85 \times 30 \times 400}\right)} \\
 &= 131,3889 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{131,3889}{0,8357} \\
 &= 157,2175 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

○ **Cek Regangan Tulangan**

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s = \epsilon_t &= \frac{0,003 (d-c)}{c} \\
 &= \frac{0,003 (489-157,2175)}{157,2175} \\
 &= 0,0064 \geq 0,005, \text{ terkendali tarik !}
 \end{aligned}$$

○ **Menghitung Kebutuhan Tulangan**

$$\begin{aligned}
 A_{s.req} &= \frac{0,85 \times f'c \times a \times b}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 131,3889 \times 400}{420} \\
 &= 3190,8730 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

○ **Menghitung dan Kontrol Tulangan Terpasang**

$$d_{tul} \text{ terpakai} = 22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 n_{req} &= \frac{A_{s.req} \times 4}{\pi \times D^2} \\
 &= \frac{3190,8730 \times 4}{\pi \times 22^2} \\
 &= 8,3941 \approx 9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s.use} &= n \times \frac{\pi \times D_{tul}^2}{4} \\
 &= 9 \times \frac{\pi \times 22^2}{4}
 \end{aligned}$$

$$= 3421,1944 \text{ mm}^2 > A_{s.req} \text{ (OK!)}$$

$$\begin{aligned} A_{s.min1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{420} \times 400 \times 489 \\ &= 637,7055 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s.min2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 489 \\ &= 652 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_{s.min}$ yang digunakan adalah nilai terbesar dari $A_{s.min1}$ dan $A_{s.min2}$, maka digunakan 652 mm^2

$$A_{s.use} > A_{s.min} \text{ (OK!)}$$

$$\begin{aligned} A_{s,max} &= 0,025 \times b \times d \\ &= 0,025 \times 400 \times 489 \\ &= 4890 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s.use} < A_{s,max} \text{ (OK!)}$$

○ Cek Spasi Tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{b-2 \text{ selimut beton}-2 \text{ dsengkang}-nD}{n-1} \\ &= \frac{400-2 \times 40-2 \times 10-6 \times 22}{6-1} \\ &= 27 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)} \end{aligned}$$

○ **Menghitung Kekuatan Nominal, M_n**

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{3421,1944 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\ &= 140,8727 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 3421,1944 \times 420 \times \left(489 - \frac{140,8727}{2}\right) \\ &= 601434790,8 \text{ Nmm} = 601,4348 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{140,8727}{0,8357} \\ &= 168,5656 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 601,4348 \end{aligned}$$

• **Tumpuan Kiri (+)**

$$M_u^+ = 668,35 \text{ kNm}$$

○ **Menghitung Momen Nominal**

$$\begin{aligned} M_{n.req} &= M_u / \phi \\ &= 668,35 / 0,9 \\ &= 742,6111 \text{ kNm} = 742\,611\,111,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

○ **Menghitung Tinggi Balok Tekan Beton dan Letak Garis Netral a dan c**

$$\begin{aligned} a &= d - \sqrt{d^2 - \left(\frac{2 |M_{n.req}|}{0,85 \times f'_c \times b}\right)} \\ &= 439 - \sqrt{439^2 - \left(\frac{2 |742\,611\,111,1|}{0,85 \times 30 \times 400}\right)} \\ &= 182,2043 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{182,2043}{0,8357} \\
 &= 219,2188 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

○ **Cek Regangan Tulangan**

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s = \epsilon_t &= \frac{0,003 (d-c)}{c} \\
 &= \frac{0,003 (489-219,2188)}{219,2188} \\
 &= 0,0037 \leq 0,005, \text{ tidak terkendali tarik !}
 \end{aligned}$$

dan setelah di cek, pada tumpuan ini menggunakan tulangan jenis rangkap.

$$\begin{aligned}
 d' &= \text{selimut beton} + D_{sk} + \frac{Dtul}{2} \\
 &= 40 + 10 + \frac{22}{2} \\
 &= 61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

○ **Hitung C1 dan a1 dengan menetapkan regangan tarik terluar**

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \frac{0,003 d}{0,003 + 0,005} \\
 &= \frac{0,003 \cdot 489}{0,003 + 0,005} \\
 &= 183,375 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \beta_1 c_1 \\
 &= 0,8357 \times 183,375 \\
 &= 153,2491 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

○ **Kebutuhan Luas Tulangan tarik A_{s1}**

$$C_c = T_s$$

$$0,85 f'c a_1 b = A_{s1} f_y$$

$$A_{s1} = \frac{0,85 \times f'c \times a_1 \times b}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 153,2491 \times 400}{420}$$

$$= 3721,7640 \text{ mm}^2$$

○ **Momen Nominal M_{n1} dan M_{n2}**

$$M_{n1} = A_{s1} \times f_y \left(d - \frac{a1}{2} \right)$$

$$= 3721,7640 \times 420 \left(489 - \frac{153,2491}{2} \right)$$

$$= 644\,600\,924 \text{ Nmm} = 644,6009 \text{ kNm}$$

$$M_{n2} = \frac{M_u}{\phi} - M_{n1}$$

$$= 742\,611\,111,1 - 644\,600\,924$$

$$= 98\,010\,188 \text{ Nmm} = 98,0102 \text{ kNm}$$

○ **Cek regangan tulang tekan**

$$e' = \frac{0,003 (c1 - d')}{c1}$$

$$= \frac{0,003 (183,375 - 61)}{183,375}$$

$$= 0,0020 < e_y = 0,0021 \text{ (Belum Leleh)}$$

$$f's = e' \times E_s$$

$$= 0,0020 \times 200000$$

$$= 400,409 \text{ Mpa}$$

○ **Menghitung kebutuhan luas tulangan tambahan (A_s' , A_{s2}) dan Tarik (A_s)**

$$A_s' = \frac{M_{n2}}{f_y (d - d')}$$

$$= \frac{98\,010\,188}{420 (489 - 61)}$$

$$= 545,2280 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = \frac{A's \times f's}{f_y}$$

$$= \frac{545,2280 \times 400,409}{420}$$

$$= 519,7952 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_{s1} + A_{s2} \\
 &= 3721,1944 + 519,7952 \\
 &= 3311,7996 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

o **Menentukan Tulangan yang akan digunakan**

a. **Tulangan Tarik**

$$A_{s,\text{use}} = n \frac{\pi(D_{tul})^2}{4}$$

Tulangan utama digunakan adalah D22 mm

$$n \frac{\pi(22)^2}{4} \geq A_s$$

$$n \frac{\pi(22)^2}{4} \geq 3311,7996$$

dari persamaan diatas, didapati jumlah tulangan tarik adalah $11,1581 \approx 12$ buah

b. **Tulangan Tekan**

$$A'_{s,\text{use}} = n \frac{\pi(D_{tul})^2}{4}$$

Tulangan utama digunakan adalah D22 mm

$$n \frac{\pi(22)^2}{4} \geq A'_{s}$$

$$n \frac{\pi(22)^2}{4} \geq 545,2280$$

dari persamaan diatas, didapati jumlah tulangan tarik adalah $1,4343 \approx 2$ buah

o **Cek Spasi Tulangan**

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{b - 2Cc - 2 d \text{ sengkang} - n D \text{ tul}}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - 2Cc - 2 d \text{ sengkang} - n D \text{ tul}}{n - 1}
 \end{aligned}$$

$$= 33,6 \text{ mm} > S_{\min} = 28 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_s &= \frac{2}{3} f_y \\ &= \frac{2}{3} \times 420 \\ &= 280 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

S_{\max} merupakan nilai terkecil dari :

$$\begin{aligned} \text{a. } 380 \times \frac{280}{f_s} - 2,5 C_c & \\ &= 380 \times \frac{280}{280} - 2,5 \times 40 \\ &= 280 \text{ mm} \\ \text{b. } 380 \times \frac{280}{f_s} & \\ &= 300 \times \frac{280}{280} \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, spasi maksimum tulangan ini adalah 280 mm, spasi terpakai adalah 33,6 mm, oelh karena itu AMAN!

- **Tumpuan Kanan (-)**

$$Mu = 510,57 \text{ kNm}$$

- **Menghitung Momen Nominal**

$$\begin{aligned} M_{n.req} &= Mu / \phi \\ &= 510,57 / 0,9 \\ &= 567,3 \text{ kNm} = 567.300.000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- **Menghitung Tinggi Balok Tekan Beton dan Letak Garis Netral a dan c**

$$a = d - \sqrt{d^2 - \left(\frac{2 |M_{n.req}|}{0,85 \times F'_{cx} b} \right)}$$

$$= 439 - \sqrt{439^2 - \left(\frac{2 | 567\,300\,000|}{0,85 \times 30 \times 400}\right)}$$

$$= 131,3889 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{131,3889}{0,8357}$$

$$= 157,2175 \text{ mm}$$

○ **Cek Regangan Tulangan**

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

$$= \frac{0,003 (489-157,2175)}{157,2175}$$

$$= 0,0064 \geq 0,005, \text{ terkendali tarik !}$$

○ **Menghitung Kebutuhan Tulangan**

$$A_{s.req} = \frac{0,85 f'_c c x a x b}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 30 \times 131,3889 \times 400}{420}$$

$$= 3190,8730 \text{ mm}^2$$

○ **Menghitung dan Kontrol Tulangan Terpasang**

$$d_{tul \text{ dipakai}} = 22 \text{ mm}$$

$$n_{req} = \frac{A_{s.req} \times 4}{\pi \times D^2}$$

$$= \frac{3190,8730 \times 4}{\pi \times 22^2}$$

$$= 8,3941 \approx 9$$

$$A_{s.use} = n \times \frac{\pi \times D_{tul}^2}{4}$$

$$= 9 \times \frac{\pi \times 22^2}{4}$$

$$= 3421,1944 \text{ mm}^2 > A_{s.req} \text{ (OK!)}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s.min1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{420} \times 400 \times 489 \\
 &= 637,7055 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s.min2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 489 \\
 &= 652 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_{s.min}$ yang digunakan adalah nilai terbesar dari $A_{s.min1}$ dan $A_{s.min2}$, maka digunakan 652 mm^2

$A_{s.use} > A_{s.min}$ (OK!)

$$\begin{aligned}
 A_{s,max} &= 0,025 \times b \times d \\
 &= 0,025 \times 400 \times 489 \\
 &= 4890 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_{s.use} < A_{s,max}$ (OK!)

○ Cek Spasi Tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b - 2 \text{ selimut beton} - 2 \text{ dsengkang} - nD}{n-1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 6 \times 22}{6-1} \\
 &= 27 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}
 \end{aligned}$$

○ **Menghitung Kekuatan Nominal, M_n**

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{3421,1944 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\ &= 140,8727 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 3421,1944 \times 420 \times \left(489 - \frac{140,8727}{2}\right) \\ &= 601434790,8 \text{ Nmm} = 601,4348 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{140,8727}{0,8357} \\ &= 168,5656 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 601,4348 \end{aligned}$$

• **Tumpuan Kanan (+)**

$$Mu^+ = 668,35 \text{ kNm}$$

○ **Menghitung Momen Nominal**

$$\begin{aligned} M_{n.req} &= Mu / \phi \\ &= 668,35 / 0,9 \\ &= 742,6111 \text{ kNm} = 742\,611\,111,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

○ **Menghitung Tinggi Balok Tekan Beton dan Letak Garis Netral a dan c**

$$\begin{aligned} a &= d - \sqrt{d^2 - \left(\frac{2 |M_{n.req}|}{0,85 \times f'_c \times b}\right)} \\ &= 439 - \sqrt{439^2 - \left(\frac{2 |742\,611\,111,1|}{0,85 \times 30 \times 400}\right)} \end{aligned}$$

$$= 182,2043 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{182,2043}{0,8357}$$

$$= 219,2188 \text{ mm}$$

○ **Cek Regangan Tulangan**

$$\begin{aligned} \epsilon_s = \epsilon_f &= \frac{0,003 (d-c)}{c} \\ &= \frac{0,003 (489-219,2188)}{219,2188} \end{aligned}$$

$$= 0,0037 \leq 0,005, \text{ tidak terkendali tarik !}$$

dan setelah di cek, pada tumpuan ini menggunakan tulangan jenis rangkap.

$$\begin{aligned} d' &= \text{selimut beton} + D_{sk} + \frac{Dtul}{2} \\ &= 40 + 10 + \frac{22}{2} \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

○ **Hitung C1 dan a1 dengan menetapkan regangan tarik terluar**

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{0,003 d}{0,003 + 0,005} \\ &= \frac{0,003 \cdot 489}{0,003 + 0,005} \\ &= 183,375 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_1 &= \beta_1 c_1 \\ &= 0,8357 \times 183,375 \\ &= 153,2491 \text{ mm} \end{aligned}$$

○ **Kebutuhan Luas Tulangan tarik A_{s1}**

$$C_c = T_s$$

$$0,85 f'c a_1 b = A_{s1} f_y$$

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= \frac{0,85 \times f'c \times a1 \times b}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 153,2491 \times 400}{420} \\
 &= 3721,7640 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- **Momen Nominal M_{n1} dan M_{n2}**

$$\begin{aligned}
 M_{n1} &= A_{s1} \times f_y \left(d - \frac{a1}{2} \right) \\
 &= 3721,7640 \times 420 \left(489 - \frac{153,2491}{2} \right) \\
 &= 644\,600\,924 \text{ Nmm} = 644,6009 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n2} &= \frac{Mu}{\phi} - M_{n1} \\
 &= 742\,611\,111,1 - 644\,600\,924 \\
 &= 98\,010\,188 \text{ Nmm} = 98,0102 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- **Cek regangan tulang tekan**

$$\begin{aligned}
 e' &= \frac{0,003 (c1 - d')}{c1} \\
 &= \frac{0,003 (183,375 - 61)}{183,375} \\
 &= 0,0020 < e_y = 0,0021 \text{ (Belum Leleh)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f's &= e' \times E_s \\
 &= 0,0020 \times 200000 \\
 &= 400,409 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- **Menghitung kebutuhan luas tulangan tambahan ($A_{s'}$, A_{s2}) dan Tarik (A_s)**

$$\begin{aligned}
 A_{s'} &= \frac{M_{n2}}{f_y (d - d')} \\
 &= \frac{98\,010\,188}{420 (489 - 61)} \\
 &= 545,2280 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s2} = \frac{A's \times f's}{f_y}$$

$$= \frac{545,2280 \times 400,409}{420}$$

$$= 519,7952 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$= 3721,1944 + 519,7952$$

$$= 3311,7996 \text{ mm}^2$$

○ **Menentukan Tulangan yang akan digunakan**

c. **Tulangan Tarik**

$$A_{s,use} = n \frac{\pi(Dtul)^2}{4}$$

Tulangan utama digunakan adalah D22 mm

$$n \frac{\pi(22)^2}{4} \geq A_s$$

$$n \frac{\pi(22)^2}{4} \geq 3311,7996$$

dari persamaan diatas, didapati jumlah tulangan tarik adalah $11,1581 \approx 12$ buah

d. **Tulangan Tekan**

$$A'_{s,use} = n \frac{\pi(Dtul)^2}{4}$$

Tulangan utama digunakan adalah D22 mm

$$n \frac{\pi(22)^2}{4} \geq A'_s$$

$$n \frac{\pi(22)^2}{4} \geq 545,2280$$

dari persamaan diatas, didapati jumlah tulangan tarik adalah $1,4343 \approx 2$ buah

o **Cek Spasi Tulangan**

$$S_1 = \frac{b - 2Cc - 2d \text{ sengkang} - n D \text{ tul}}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - 2Cc - 2d \text{ sengkang} - n D \text{ tul}}{n - 1}$$

$$= 33,6 \text{ mm} > S_{\min} = 28 \text{ mm}$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y$$

$$= \frac{2}{3} \times 420$$

$$= 280 \text{ Mpa}$$

S_{\max} merupakan nilai terkecil dari :

$$c. 380 \times \frac{280}{f_s} - 2,5 C_c$$

$$= 380 \times \frac{280}{280} - 2,5 \times 40$$

$$= 280 \text{ mm}$$

$$d. 380 \times \frac{280}{f_s}$$

$$= 300 \times \frac{280}{280}$$

$$= 300 \text{ mm}$$

Maka, spasi maksimum tulangan ini adalah 280 mm, spasi terpakai adalah 33,6 mm, oelh karena itu **AMAN!**

2.8.3 Penulangan Balok Transversal

• **Tumpuan Kiri**

o **Momen ujung tumpuan kiri (-) M_{pr1}**

Tulangan atas terpakai : 9D22

$$A_{s.use} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 9 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2$$

$$= 3421,1944 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_{pr} = \frac{A_{s.use} \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$= \frac{3421,1944 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$= 176,0909 \text{ mm}$$

$$M_{pr1} = A_{s.use} \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$= 3421,1944 \times 1,25 \times 420 \times \left(489 - \frac{176,0909}{2} \right)$$

$$= 720,165 \text{ kNm}$$

- o **Momen ujung tumpuan kiri (+) M_{pr2}**

Tulangan atas terpakai : 12D22

$$A_{s.use} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 12 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2$$

$$= 4561,5925 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_{pr} = \frac{A_{s.use} \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$= \frac{4561,5925 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$= 234,7879 \text{ mm}$$

$$M_{pr2} = A_{s.use} \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$= 4561,5925 \times 1,25 \times 420 \times \left(489 - \frac{234,7879}{2} \right)$$

$$= 960,2204 \text{ kNm}$$

○ **Gaya Geser Gempa Akibat Sendi Plastis (V_e)**

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} \\ &= \frac{720,165 + 960,2204}{3350/1000} \\ &= 501,6077 \text{ kN} \end{aligned}$$

○ **Gaya Geser Akibat Beban Gravitasi (V_g)**

Nilai V_g , didapat dari perhitungan pada aplikasi Midas Gen, dari aplikasi ini didapati nilainya untuk balok induk 1 400 x 550 sebesar :

$$V_g = 184,44 \text{ kN}$$

○ **Gaya Geser Desain**

$$\begin{aligned} V_{e1, \text{Gempa kiri}} &= V_g - V_e \\ &= 184,44 - 501,6077 \\ &= -317,168 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e1, \text{Gempa kanan}} &= V_g + V_e \\ &= 184,44 + 501,6077 \\ &= 686,0477 \text{ kN} \end{aligned}$$

V_e yang digunakan adalah nilai terbesar dari gempa kiri maupun kanan, sehingga nilai yang dipakai adalah 686,0477 kN

○ **Tulangan Geser Tumpuan**

Periksa : (SNI 2847 2019 18.6.5.2)

1. $V_e > 0,5 V_u$

$$686,0477 > 0,5 \times 281,05$$

OK!

2. $P_u < A_g f'c/20$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0, \text{ maka } V_e = \phi V_s \\
 V_e &= \frac{\phi A_v \times f_{yt} \times d}{s} \\
 s &= \frac{\phi A_v \times f_{yt} \times d}{V_e} \\
 &= \frac{0,75 \times 157,0796 \times 420 \times 489}{686,0476} \\
 &= 35,2683 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan transversal daerah lapangan 2D10-50.

- **Tumpuan Kanan**

- **Momen ujung tumpuan kanan (-) M_{pr1}**

Tulangan atas terpakai : 9D22

$$\begin{aligned}
 A_{s.use} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 9 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\
 &= 3421,1944 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{pr} &= \frac{A_{s.use} \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{3421,1944 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\
 &= 176,0909 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr1} &= A_{s.use} \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{\alpha_{pr}}{2} \right) \\
 &= 3421,1944 \times 1,25 \times 420 \times \left(489 - \frac{176,0909}{2} \right) \\
 &= 720,165 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- **Momen ujung tumpuan kanan (+) M_{pr2}**

Tulangan atas terpakai : 12D22

$$\begin{aligned}
 A_{s.use} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 12 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\
 &= 4561,5925 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{pr} &= \frac{A_{s.use} \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{4561,5925 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400}
 \end{aligned}$$

$$= 234,7879 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr2} &= A_{s.use} \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \\
 &= 4561,5925 \times 1,25 \times 420 \times \left(489 - \frac{234,7879}{2} \right) \\
 &= 960,2204 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

○ **Gaya Geser Gempa Akibat Sendi Plastis (Ve)**

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} \\
 &= \frac{720,165 + 960,2204}{3350/1000} \\
 &= 501,6077 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

○ **Gaya Geser Akibat Beban Gravitasi (Vg)**

Nilai Vg, didapat dari perhitungan pada aplikasi Midas Gen, dari aplikasi ini didapati nilainya untuk balok induk 1 400 x 550 sebesar :

$$V_g = 184,44 \text{ kN}$$

○ **Gaya Geser Desain**

$$\begin{aligned}
 V_{e1.Gempa\ kiri} &= V_g - V_e \\
 &= 184,44 - 501,6077 \\
 &= -317,168\text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e1.Gempa\ kanan} &= V_g + V_e \\
 &= 184,44 + 501,6077 \\
 &= 686,0477\text{ kN}
 \end{aligned}$$

V_e yang digunakan adalah nilai terbesar dari gempa kiri maupun kanan, sehingga nilai yang dipakai adalah 686,0477 kN

○ **Tulangan Geser Tumpuan**

Periksa : (SNI 2847 2019 18.6.5.2)

$$\begin{aligned}
 3. \quad V_e &> 0,5 V_u \\
 686,0477 &> 0,5 \times 281,05 \quad \text{OK!}
 \end{aligned}$$

4. **$P_u < A_g f'c/20$**

$$V_c = 0, \text{ maka } V_e = \phi V_s$$

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{\phi A_v \times f_{yt} \times d}{s} \\
 s &= \frac{\phi A_v \times f_{yt} \times d}{V_e} \\
 &= \frac{0,75 \times 157,0796 \times 420 \times 489}{686,0476} \\
 &= 35,2683\text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan transversal daerah lapangan 2D10-50.

• **Lapangan**

$$\begin{aligned}
 V_{e.lap.gki} &= \frac{l_n - 2h}{l_n} (V_{e.gki.max} - V_{e.hki.min}) + V_{e.gki.min} \\
 &= \frac{3350 - 2 \times 550}{3350} \times (686,0476 + 317,168) - 317,168 \\
 &= 356,6336\text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e.lap.gka} &= \frac{\ln - 2h}{\ln} (V_{e.gki.max} - V_{e.hki.min}) + V_{e.gki.min} \\
 &= \frac{3350 - 2 \times 550}{3350} \times (686,0476 + 317,168) - 317,168 \\
 &= 685,7974 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_{e.lap} = 685,7974 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,171 \sqrt{f'c} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 400 \times 489 \\
 &= 178557,5537 \text{ N} = 178,5575 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \frac{178,5575}{0,75} \\
 &= 133,9181 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Karena nilai $V_e > \phi V_c$, maka tulangan geser tidak diperlukan.

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_{e.lap}}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{685,7974}{0,75} - 178,5575 \\
 &= 736,1727 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_s < 0,66 \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$736,1727 < 0,66 \sqrt{30} \times 400 \times 489 \quad (\text{AMAN!})$$

digunakan tulangan 2D10

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{\phi A_v \times f_{yt} \times d}{V_s} \\
 &= \frac{0,75 \times 2 \times 78,5398 \times 280 \times 489 \times 100}{736,1727} \\
 &= 21,9113 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{max} &= \frac{d}{2} \\
 &= \frac{489}{2} \\
 &= 244,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S < S_{max}$, AMAN!, maka dapat digunakan 2D10-100

2.9 Penulangan Kolom

2.9.1 Perancangan Penulangan Kolom Longitudinal

- **Data-data diketahui :**

Direncanakan dilokasi dengan KDS D.

- b = 650 mm
- h = 650 mm
- t = 3000 mm
- f'_c = 30 Mpa
- f_y = 420 Mpa
- f_{ys} = 280 Mpa
- $P_{u.min}$ = 277,99 kN
- $P_{u.max}$ = 2766,38 kN
- $M_{ux.min}$ = -457,76 kN
- $M_{ux.max}$ = 639,7 kN
- $M_{uy.min}$ = 311,77 kN
- $M_{uy.max}$ = 651,9 kN

- **Momen Nominal Balok**

$$M_{nb, ka (-)} = 247,4 \text{ kN}$$

$$M_{nb, ki (+)} = 243,1 \text{ kN}$$

Momen nominal dari balok kiri dan kanan sama, sehingga jumlah tulungannya juga menjadi sama.

Data-data dari kolom yang diperhitungkan sudah ada, data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam aplikasi *software* SP Column dan di dapatkan hasil sesuai pada Tabel 2.16 Hasil Perhitungan SP Column dan Gambar 2.6 Grafik SP Column Kolom 1 650 x 650 mm seta Gambar 2.7 Grafik SP Column Kolom 2 550 x 550 mm.

Tabel 2.16 Hasil Perhitungan SP Column

No	Tipe Kolom	Pu (kN)	$\emptyset M_{ny}$ (kNm)	$\emptyset M_n/\mu$	Na depth (mm)	ϵ_t	\emptyset
1	K1	2766,39	703,71	1,079	455	0,00247	0,769
2	K1	277,99	519,32	1,666	304	0,00501	0,9
3	K2	930,31	345,19	1,132	328	0,00331	0,754
4	K2	13,44	96,99	6,264	138	0,00835	0,9

- **Momen Nominal**

Dari data yang didapat pada *Software* SP Column, kita dapat menghitung nilai Momen Nominal nya, dengan membagi $\emptyset M_n$ dengan nilai \emptyset nya.

$$\begin{aligned}
 M_{nc.a} &= \frac{\emptyset M_n}{\emptyset} \\
 &= \frac{703,71}{0,769} \\
 &= 915,0975 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nc.b} &= \frac{\emptyset M_n}{\emptyset} \\
 &= \frac{519,32}{0,9} \\
 &= 577,0222 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019, 18.7.4.3, kolom harus memenuhi syarat :

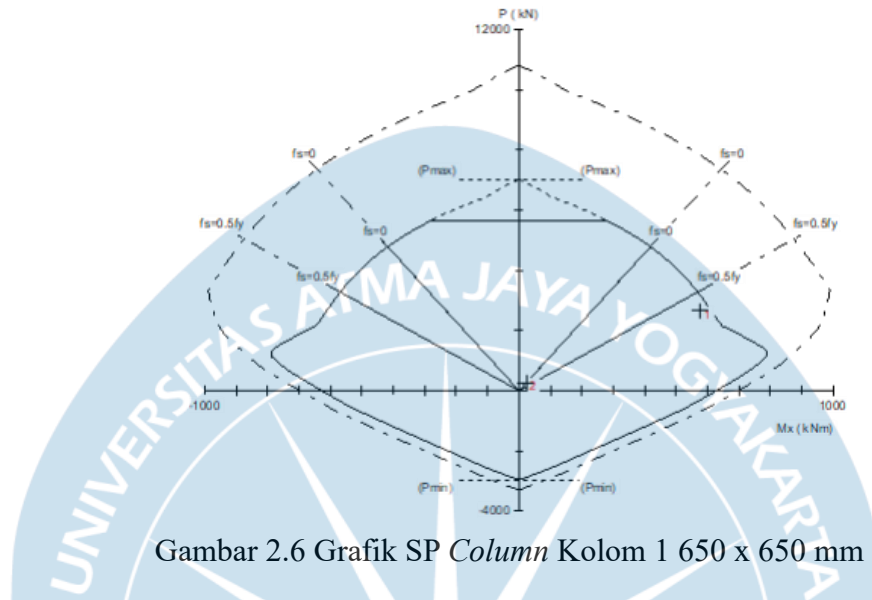
$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

$$M_{nc.a} + M_{nc.b} \geq 1,2 (M_{nb, ka (-)} + M_{nb, ki (+)})$$

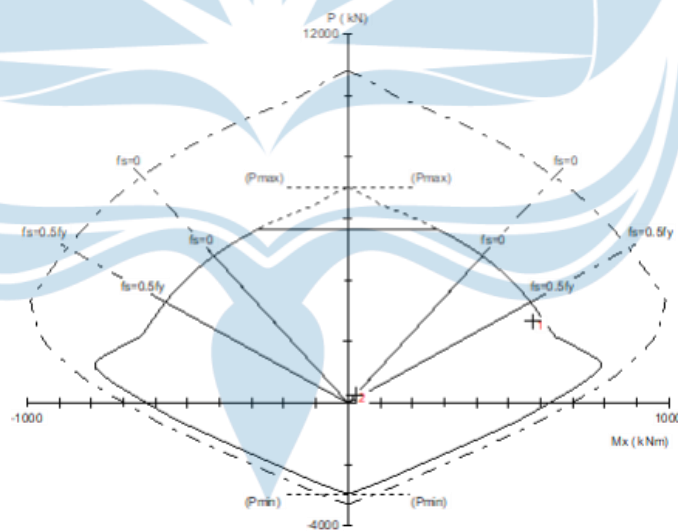
$$915,0975 + 577,022 \geq 1,2 (247,4 + 243,1)$$

1492,1197 kNm \geq 588,6 kNm

AMAN!



Gambar 2.6 Grafik SP *Column* Kolom 1 650 x 650 mm



Gambar 2.7 Grafik SP *Column* Kolom 2 550 x 550 mm

2.9.2 Perancangan Penulangan Kolom Transversal

Direncanakan dilokasi dengan KDS D.

Dari hasil analisis struktur didapatkan $V_u = 476,87$ kN

Berdasarkan MPR balok kiri dan kanan kolom di dapatkan:

$$\text{MPrb ki (-)} = 1,25 \times 204,120 = 225,150 \quad \text{kNm}$$

$$\text{MPrb ki (+)} = 1,25 \times 271,200 = 339,000 \quad \text{kNm}$$

$$\text{MPrb ka (-)} = 1,25 \times 204,120 = 225,150 \quad \text{kNm}$$

$$\text{MPrb ka (+)} = 1,25 \times 271,200 = 339,000 \quad \text{kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{MPrk dari balok} &= 0,5 \times (225,150 + 339,000) \\ &= 297,075 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Menghitung kuat geser perlu :

$$V_e = \frac{297,075 \times 297,075}{(3 - (2 \times \frac{0,65}{2}))} = 778,806 \text{ kN} > V_u = 476,87 \text{ kN}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan apabila $V_e > V_u$ maka $V_e = V_u = 778,806$ kN (SNI-2847 Ps18.7.6.1.1).

$$\text{Diameter Sengkang} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton} = 40 \text{ mm}$$

$$D = 650 - 40 - 13 - \frac{22}{2} = 586 \text{ mm}$$

Kuat geser beton diabaikan $V_c = 0$ (Krena $V_c > V_u$)

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - 0 = \frac{778,806 \times 1000}{0,769} - 0 = 1012751,6255$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{F_y t d} = \frac{1012751,6255}{280 \times 586} = 6,1723 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad (1)$$

Penentuan batasan tulangan Transversal kolom pengekrang

$$P_u = 2766,38 \text{ kN} = 2766380 \text{ N} < 0,3 f'_c A_g \quad \text{AMAN!}$$

$$f'_c < 70 \text{ Mpa}$$

karena dari 2 syarat diatas terpenuhi, maka persemaan-persamaan berikut digunakan :

$$1. \frac{A_{sh}}{s_{bc}} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (2)$$

$$2. \frac{A_{sh}}{s_{bc}} = 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (3)$$

$$b_c = h_c - 2 \text{ cover}$$

$$= 650 - 2 \times 40$$

$$= 570 \text{ mm}$$

$$A_g = b_c \times h_c$$

$$= 650 \times 650$$

$$= 422\,500 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = (b_c - 2 \times \text{cover}) (h_c - 2 \times \text{cover})$$

$$= (650 - 2 \times 40) (650 - 2 \times 40)$$

$$= 324\,900 \text{ mm}^2$$

Setelah mendapat data-data seperti diatas, kemudian kita masukkan ke 2 persamaan sebelumnya, sehingga didapat:

$$\frac{A_{sh}}{s_{bc}} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$= 0,3 \left(\frac{422\,500}{324\,900} - 1 \right) \frac{30}{280}$$

$$= 5,504 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{sbc} &= 0,09 \frac{f'c}{fyt} \\ &= 0,09 \frac{30}{280} \\ &= 5,496 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

Dari 3 persamaan di atas (1,2, dan 3), diambil nilai terbesar, sehingga dipakai nilai $5,504 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Asumsi jarak antar tulangan adalah pada 100 mm, pada daerah sepanjang l_0 , maka $A_{sh} = 5,504 \times 100 = 550,4 \text{ mm}^2$

digunakan diameter tulangan 13 mm

$$\begin{aligned}A_{v.1 \text{ kaki}} &= 0,25 \pi (D^2) \\ &= 0,25 \pi (13^2) \\ &= 132,7 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka, jumlah tulangan transversal dapat dihitung dengan :

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{sh}}{A_{v.1 \text{ kaki}}} \\ &= \frac{550,4}{132,7} \\ &= 4,147 \approx 5\end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan transversal pada daerah l_0 :

5D13-100

Cek syarat spasi tulangan transversal :

S_{\max} :

a. 0,25 dimensi terkecil kolom

$$= 0,25 \times 650$$

$$= 162,5 \text{ mm}$$

b. $6D$

$$= 6 \times 22$$

$$= 132 \text{ mm}$$

c. Nilai S_0

$$= 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

$$= 100 + \frac{350 - 261}{3}$$

$$h_x = 2 \times s$$

$$= 2 \times 130,5$$

$$= 261 \text{ mm}$$

$$s = \frac{b - 2 \times \text{cover} - 2 \times D_{sk} - 2 \times 0,5 \times D_{tul}}{N - 1}$$

$$= \frac{650 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 2 \times 0,5 \times 22}{5 - 1}$$

$$= 130,5 \text{ mm}$$

Sehingga, asumsi jarak antar tulangan 100 mm memenuhi syarat, karena didapati nilai S_0 berada pada kisaran $100 < S_0 < 150$.

Kebutuhan Tulangan Transversal pada daerah luar l_o :

$$d = h_c - \text{cover} - d \text{ sengkang} - \frac{d_{tul}}{2}$$

$$= 650 - 40 - 13 - \frac{22}{2}$$

$$= 586 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17\lambda \sqrt{f'c} b_w d \quad (\text{SNI 2847-2019 22.5.5.1}) \\
 &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 650 \times 586 \\
 &= 354666,7877 = 354,667 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nilai $V_c > V_u$, maka hanya diperlukan tulangan minimum, sehingga digunakan jarak antar tulangan transversal sebesar 150 mm.

$$\begin{aligned}
 A_{v.min1} &= 0,062 \sqrt{f'c} \frac{b \times s}{f_{yt}} \\
 &= 0,062 \sqrt{30} \times \frac{650 \times 150}{280} \\
 &= 118,249 \text{ mm} \\
 A_{v.min2} &= 0,35 \times \frac{b \times s}{f_{yt}} \\
 &= 0,35 \times \frac{650 \times 150}{280} \\
 &= 121,875 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga, tulangan transversal pada daerah luar l_o , dapat digunakan 2D13-150.

Dengan cara yang sama seperti pada sub bab 2.9.1-2.9.2, didapatkan jumlah dan jenis tulangan untuk kolom 2, 550×550 adalah sebagai berikut :

Data-data :

Direncanakan dilokasi dengan KDS D.

- b = 550 mm
- h = 550 mm
- t = 4500 mm
- $f'c$ = 30 Mpa
- f_y = 420 Mpa
- f_{ys} = 280 Mpa

- $P_{u.min}$ = 13,44 kN
- $P_{u.max}$ = 930,31 kN
- $M_{ux.min}$ = 96,99 kN
- $M_{ux.max}$ = 345,19 kN
- $M_{uy.min}$ = 5,8 kN
- $M_{uy.max}$ = 367,93 kN

Tulangan Longitudinal, dengan bantuan *software* SP Column didapat 20D22.

Tulangan Transversal, untuk kolom 2 550 × 550, didapat sebagai berikut :

Pada daerah l_0 = 5D13-100

Pada daerah luar l_0 = 2D13-100

2.10 Perencanaan Hubungan Balok Kolom

Demi menciptakan struktur yang kuat maka harus di lakukan perencanaan hubungan antara balok dan kolom. Hubungan balok kolom diperlukan untuk menyambung antar tulangan balok dengan kolom. Selain itu, kolom juga berfungsi untuk menahan seluruh beban axial mulai dari pelat lantai, balok dan beban hidup. Pada bangunan Gedung Pengelola GKI Muntilan memiliki 2 jenis kolom serta 2 jenis balok.

Untuk menghitung hubungan balok kolom diperlukan data-data sebagai berikut:

f'_c	= 30	MPa
f_y tulangan utama	= 420	MPa
f_y sengkang	= 280	MPa
Dimensi kolom	= 650 × 650	mm
Dimensi Balok	= 400 × 550	mm

$$t = 3000 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter sengkang} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$d \text{ balok} = 550 - 40 - 10 - \frac{22}{2} = 489 \text{ mm}$$

$$d \text{ kolom} = 650 - 40 - 13 - \frac{22}{2} = 586 \text{ mm}$$

Hubungan balok (BI-1) dan kolom (K-1)

$$\frac{A_{sh}}{s} = 5,504 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Untuk mencari jumlah tulangan transversal diambil $\frac{1}{2}$ bagian dari kebutuhan tulangan transversal kolom.

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,5 \times 5,504 = 2,752 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dengan jarak tulangan transversal sebesar 150 mm maka dapat ditentukan A_{sh} sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{sh} &= \text{Jarak tulangan transversal} \times \frac{A_{sh}}{s} \\ &= 150 \times 2,752 \\ &= 412,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang 5D13-150

Maka untuk jumlah kaki yaitu 5 dapat dihitung A_{sh} sebagai berikut;

$$\begin{aligned} A_{sh} &= \text{Jumlah kaki} \times A_v \\ &= 5 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2\right) \end{aligned}$$

$$= 663,6614 \text{ mm}^2$$

Menghitung nilai M_{pr} :

Diketahui jumlah tulangan sisi atas pada (BI-1) yaitu 12D22 dengan jumlah tulangan utama = 12.

$$\alpha = \frac{A_{sh} (1,25 f_y)}{0,85 f_c b_{balok}} = \frac{12 \times 380,1327 \times (1,25 \times 420)}{0,85 \times 30 \times 400} = 234,7878 \text{ mm}$$

Maka M_{pr} adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_{pr} &= A_{sh} \times (1,25 f_y) \times \left(d - \frac{\alpha}{2}\right) \\ &= 12 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2\right) \times (1,25 \times 420) \times \left(489 - \frac{234,7878}{2}\right) \\ &= 889,9357 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Diketahui jumlah tulanga sisi atas pada (BI-1) yaitu 9D22 dengan jumlah tulangan utama = 9

$$\alpha = \frac{A_{sh} (1,25 f_y)}{0,85 f_c b_{balok}} = \frac{9 \times 380,1327 \times (1,25 \times 420)}{0,85 \times 30 \times 400} = 176,0909 \text{ mm}$$

Maka M_{pr} adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{pr} &= A_{sh} \times (1,25 f_y) \times \left(d - \frac{\alpha}{2}\right) \\ &= 9 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2\right) \times (1,25 \times 420) \times \left(489 - \frac{176,0909}{2}\right) \\ &= 720,1653 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai M_{pr} balok, maka nilai M_c dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_c &= DF (M_{pr} \text{ atas} + M_{pr} \text{ bawah}) \\ &= 0,5 \times (889,9357 + 720,1653) \end{aligned}$$

$$= 805,0505 \text{ kNm}$$

Untuk menentukan V_{goyangan} dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$V_{\text{goyangan}} = \frac{(M_c + M_c)}{ln} = \frac{(805,0505 + 805,0505)}{2,95} = 545,7969 \text{ kN}$$

Gaya – gaya tulangan longitudinal balok dengan asumsi kolom bergoyang ke sebelah kanan. Gaya tarik tulangan dan daya tekan beton sisi kanan luas tulangan adalah sebagai berikut :

$$\text{Tulangan} = 12\text{D}22$$

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \times A_s \text{ tulangan atas} \times \frac{f_y}{1000} \\ &= 1,25 \times 12 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2\right) \times \frac{420}{1000} \\ &= 2394,8361 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka:

$$C_1 = T_1 = 2394,8361 \text{ kN}$$

Setelah mendapatkan gaya tarik tulangan dan daya tekan beton sisi kanan dengan cara yang sama, berikutnya dilakukan perhitungan untuk mencari gaya tarik tulangan dan daya tekan beton sisi kiri luas tulangan sebagai berikut:

$$\text{Tulangan} = 9\text{D}22$$

$$\begin{aligned} T_2 &= 1,25 \times A_s \text{ tulangan atas} \times \frac{f_y}{1000} \\ &= 1,25 \times 9 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2\right) \times \frac{420}{1000} \\ &= 1796,127 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka:

$$C_2 = T_2 = 1796,127 \text{ kN}$$

Hitungan gaya geser pada join :

Gaya geser pada join (V_j)

$$\begin{aligned} V_j &= T_1 + C_2 - V_{\text{goyangan}} \\ &= 2394,8361 + 1796,127 - 545,7969 \\ &= 3645,166 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka kekuatan geser join yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \lambda f'c A_j \\ &= 1,7 \times \sqrt{f'c} \times 520000 \\ &= 4841867 \text{ N} \\ &= 4841,867 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } \phi V_n &= 0,85 \times 4841,867 \\ &= 4115,587 \text{ kN} \geq 3645,166 \text{ kN Aman!} \end{aligned}$$

Hubungan balok (BI-2) dan kolom (K-2)

$$\frac{A_{sh}}{s} = 5,581 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Untuk mencari jumlah tulangan transversal diambil $\frac{1}{2}$ bagian dari kebutuhan tulangan transversal kolom.

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,5 \times 5,581 = 2,79027 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dengan jarak tulangan transversal sebesar 150 mm maka dapat ditentukan A_{sh} sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} A_{sh} &= \text{Jarak tulangan transversal} \times \frac{A_{sh}}{s} \\ &= 150 \times 2,79027 \\ &= 418,541 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang 5D13-150

Maka untuk jumlah kaki yaitu 5 dapat dihitung A_{sh} sebagai berikut;

$$\begin{aligned} A_{sh} &= \text{Jumlah kaki} \times A_v \\ &= 5 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2\right) \\ &= 663,6614 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung nilai M_{pr} :

Diketahui jumlah tulangan sisi atas pada (BI-3) yaitu 3D22 dengan jumlah tulangan utama = 3

$$\alpha = \frac{A_{sh} (1,25 f_y)}{0,85 f_c b_{balok}} = \frac{3 \times 380,1327 \times (1,25 \times 420)}{0,85 \times 30 \times 400} = 136,96 \text{ mm}$$

Maka M_{pr} adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_{pr} &= A_{sh} \times (1,25 f_y) \times \left(d - \frac{\alpha}{2}\right) \\ &= 12 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2\right) \times (1,25 \times 420) \times \left(489 - \frac{136,96}{2}\right) \\ &= 889,9357 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Diketahui jumlah tulanga sisi atas pada (BI-1) yaitu 3D22 dengan jumlah tulangan utama = 3

$$\alpha = \frac{A_{sh} (1,25 f_y)}{0,85 f_c b_{balok}} = \frac{3 \times 380,1327 \times (1,25 \times 420)}{0,85 \times 30 \times 400} = 130,438 \text{ mm}$$

Maka M_{pr} adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_{pr} &= A_{sh} \times (1,25 f_y) \times \left(d - \frac{\alpha}{2}\right) \\ &= 3 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2\right) \times (1,25 \times 420) \times \left(339 - \frac{130,438}{2}\right) \\ &= 374,6332 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai M_{pr} balok, maka nilai M_c dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_c &= DF (M_{pr} \text{ atas} + M_{pr} \text{ bawah}) \\ &= 0,5 \times (374,6332 + 374,6332) \\ &= 323,912 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Untuk menentukan $V_{goyangan}$ dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$V_{goyangan} = \frac{(M_c + M_c)}{ln} = \frac{(323,912 + 323,912)}{2,95} = 179,951 \text{ kN}$$

Gaya – gaya tulangan longitudinal balok dengan asumsi kolom bergoyang ke sebelah kanan. Gaya tarik tulangan dan daya tekan beton sisi kanan luas tulangan adalah sebagai berikut :

$$\text{Tulangan} = 3D22$$

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \times A_s \text{ tulangan atas} \times \frac{f_y}{1000} \\ &= 1,25 \times 3 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2\right) \times \frac{420}{1000} \\ &= 598,709 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka :

$$C_1 = T_1 = 598,709 \text{ kN}$$

Setelah mendapatkan gaya tarik tulangan dan daya tekan beton sisi kanan dengan cara yang sama, berikutnya dilakukan perhitungan untuk mencari gaya tarik tulangan dan daya tekan beton sisi kiri luas tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan} = 5D22$$

$$\begin{aligned} T_2 &= 1,25 \times A_s \text{ tulangan atas} \times \frac{f_y}{1000} \\ &= 1,25 \times 5 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 22^2\right) \times \frac{420}{1000} \\ &= 997,848 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka :

$$C_2 = T_2 = 997,848 \text{ kN}$$

Hitungan gaya geser pada join :

Gaya geser pada join (V_j)

$$\begin{aligned} V_j &= T_1 + C_2 - V_{\text{goyangan}} \\ &= 997,8484 + 598,709 - 598,709 \\ &= 1416,61 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka kekuatan geser join yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \lambda f'c A_j \\ &= 1,7 \times \sqrt{f'c} \times 302500 \end{aligned}$$

$$= 2816663 \text{ N}$$

$$= 2816,66 \text{ kN}$$

Maka, $\varphi V_n = 0,85 \times 2816,66$

$$= 2394,164 \text{ kN} \geq 1416,61 \text{ kN} \text{ Aman!}$$

