

BAB 2

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Preliminary Design

Kost yang bertempat di Yogyakarta memiliki 5 tipe kolom yang memiliki ukuran 650 x 500 (K1), 500 x 350 (K2), 550 x 500 (K3), 400 x 350 (K4), dan 300 x 300 (K5). Selain itu, 4 tipe balok induk yang berukuran 400 x 300 (B1), 600 x 300 (B2), 375 x 250 (B3) dan 400 x 250 (B4). Adapun 2 balok anak yang memiliki ukuran 350 x 250 (BA1) dan 300 x 200 (BA2).

2.2 Interpretasi Data Tanah dan Penentuan Kelas Situs

Pelaksanaan interpretasi data tanah menggunakan metode pembacaan disertai dengan pengolahan data tanah yang diambil berdasarkan data yang telah disurvei. Data tanah yang dibaca berupa data *Bor Log* yang akan diolah untuk mengetahui kelas situs tanah pada bangunan. Kelas situs tanah yang didapatkan akan diolah kembali untuk menentukan respon spektrum.

Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan data tanah adalah uji SPT atau *Standard Penetration Test* dan uji CPT atau *Cone Penetrometer Test*. Data tanah yang digunakan oleh penulis adalah data dari uji SPT yang merupakan data dari hasil *Bor Log* yang kemudian akan diolah untuk mendapatkan kelas situs seperti yang tertera pada Gambar 2.1.



SOIL MECHANIC LABORATORY
 CIVIL ENGINEERING PROGRAM
 FACULTY OF ENGINEERING, UAJY
 44 BABARSAARI STREET, YOGYAKARTA 55281
 Tel: +62-274-487711 ext. 1055
 Fax: +62-274-487748

Boring Number:

BH-1

BOR LOG

CLIENT:	PROJECT TITLE :
PROJECT CONTRACT NUMBER:	PROJECT LOCATION :
DATE STARTED:	GROUND ELEVATION : -0,50 m from road level
DATE COMPLETED :	HOLE SIZE : 7.295cm
DRILLING CONTRACTOR: SOIL MECH. LAB. UAJY	GROUND WATER LEVEL : > - 50,00 m from ground level
DRILLING METHOD: ROTARY SPINDLE, SKID MOUNTED TYPE	WEATHER CONDITION : FINE
LOGGED BY: Mukarob, CS.	ESTIMATED SEASONAL HIGH : -
CHECKED BY: SOIL MECH. LAB, UAJY	

Depth (m)	Graph Log	Material Description (field observations)	Contact Depth (m)	Sample Number	Blow Counts (N Value)				Water Level Elevation (m)	SPT Value
					N1	N2	N3	Nv		
1										
2										
3										
4		Lempung (coklat, hitam)	6		2	3	3	6		▲
5										
6					2	2	3	5		▲
7										
8					2	2	3	5		▲
9										
10		Lanau (coklat, abu-abu)	9		2	2	2	4		▲
11										
12					1	1	2	3		▲
13										
14					1	1	2	3		▲
15										
16					1	2	2	4		▲
17										
18					2	2	2	4		▲
19										
20					2	3	2	5		▲
21										
22		Lempung (coklat, abu-abu)	15		2	2	3	5		▲
23										
24					2	2	2	4		▲
25										
26					2	2	2	4		▲
27										
28					2	2	3	5		▲
29										
30				I	2	2	3	5		▲
31										
32					2	3	2	5		▲
33										
34					2	3	3	6		▲
35		Lempung (coklat, kuning)	11							
36					2	4	4	8		▲
37										
38					3	4	4	8		▲
39										
40					3	4	5	9		▲
41										
42					3	4	5	9		▲
43										
44					3	4	6	10		▲
45		Lempung (coklat, abu-abu)	9	II						
46					3	4	6	10		▲
47										
48					3	5	6	11		▲
49										
50					3	6	6	12		▲

Gambar 2.1 Bor Log

2.2.1. Menentukan Kelas Situs

Berdasarkan data tanah yang telah dipaparkan pada Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa data tanah dari *BOR LOG* memiliki kedalaman tanah hingga 42 meter. Pada tanah yang diuji memiliki material berupa tanah lempung berwarna coklat dan hitam dengan kedalaman 1 meter hingga 6 meter. Material tanah lanau berwarna coklat dan abu-abu dengan kedalaman 7 meter hingga 15 meter. Material tanah lempung berwarna coklat dan abu-abu dengan kedalaman 16 meter hingga 30 meter. Material tanah lempung berwarna coklat dan kuning 31 meter hingga 41 meter. Material tanah lempung berwarna coklat dan abu-abu dengan kedalaman 42 meter hingga 50 meter.

Data *BOR LOG* tersebut kemudian diolah untuk menentukan klasifikasi situs tanah berdasarkan referensi dari SNI 1726:2019 tentang cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Profil tanah dapat dilihat hingga kedalaman 50 meter dari permukaan tanah menggunakan rumus:

Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata: $\bar{N} =$

$$\frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n d_i / n_i} \dots\dots\dots(2.1)$$

Tabel 2.1 Tabel Perhitungan Rata-Rata \bar{N} untuk menentukan Situs Kelas

Kedalaman	T(m)	N(SPT)	$N = T/N$
0-2	2	6	0,3333
2-4	2	6	0,3333
4-6	2	5	0,4
6-8	2	5	0,4
8-10	2	4	0,5
10-12	2	3	0,6667
12-14	2	3	0,6667
14-16	2	4	0,5
16-18	2	4	0,5
18-20	2	5	0,4
20-22	2	5	0,4
22-24	2	4	0,5
24-26	2	4	0,5
26-28	2	5	0,4
28-30	2	5	0,4
30-32	2	5	0,4
32-34	2	6	0,3333
34-36	2	8	0,25
36-38	2	8	0,25
38-40	2	9	0,2222
40-42	2	9	0,2222
42-44	2		
Jumlah	44		8,5778
Rata-rata			4,8964

Berdasarkan analisis data *BOR LOG* didapatkan nilai N rata-rata sebesar 4,8964. Berdasarkan SNI 1726:2019, angka tersebut termasuk dalam kelas situs tanah lunak (SE).

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Gambar 2.2 Tabel SNI 1726:2019 Klasifikasi Situs

2.2.2. Menentukan Kategori Risiko

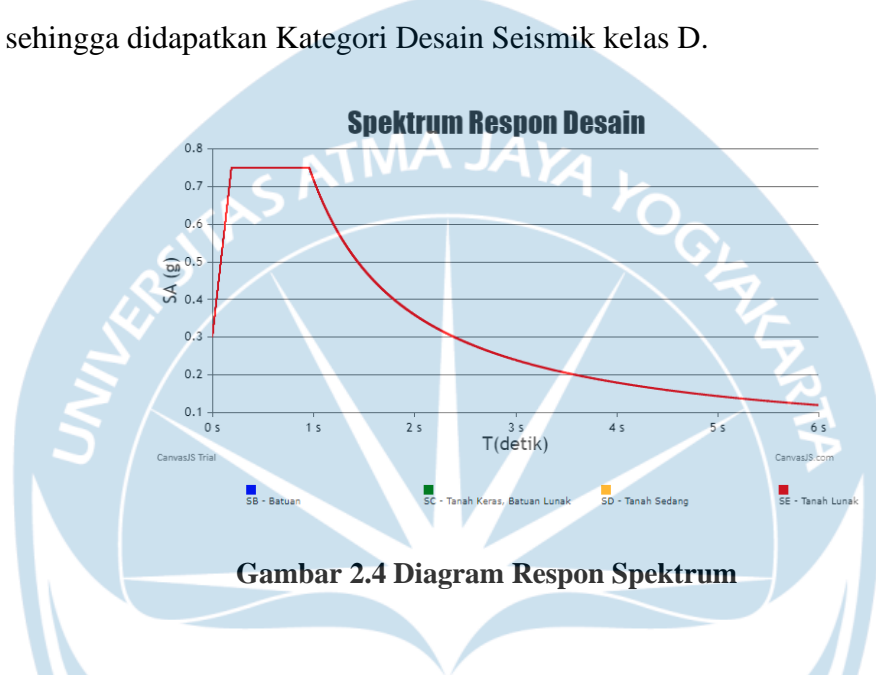
Berdasarkan referensi dari SNI 1726:2019 jenis pemanfaatan Kos di Yogyakarta sebagai gedung apartemen/ rumah susun maka termasuk dalam kategori risiko II.

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo	III
Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi	
Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	IV

Gambar 2.3 Tabel SNI 1726:2019 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa

2.2.3. Kategori Desain Seismik

Langkah awal dalam menentukan kategori desain seismik yaitu memasukkan data kota yang ditinjau dan kelas situs tanah SE pada *website* Desain Spektra Indonesia Kementerian PUPR. Dengan demikian, hasil dari *website* didapatkan spektrum respon desain, S_{Ds} , dan S_{D1} . Data S_{Ds} dan S_{D1} diolah untuk menentukan kategori risiko bangunan berdasarkan referensi SNI 1726:2019 sehingga didapatkan Kategori Desain Seismik kelas D.



Gambar 2.4 Diagram Respon Spektrum



Gambar 2.5 Spektrum Respon Desain S_{ds} dan S_{d1}

Tabel 8 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

Tabel 9 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

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

Gambar 2.6 Tabel SNI 1726:2019 Kategori Desain Seismik

2.3 Penentuan Sistem Struktur

Pada SNI 2847:2019, sistem struktur dibedakan menjadi beberapa sistem seperti berikut:

- Sistem pemikul gaya seismik (*Seismic-force-resisting system*). Sistem ini merupakan bagian struktur yang didesain agar mampu menahan gaya gempa. Pembangunan gedung umum yang dilakukan dengan menggunakan ketentuan yang sesuai dengan kombinasi beban yang legal.
- Sistem rangka pemikul momen (*Moment frame*), merupakan rangka yang memiliki komponen balok, pelat, kolom, dan *joint* agar mampu menahan gaya lentur, geser, dan aksial.
- Sistem rangka pemikul momen biasa (*Ordinary Moment Frame*). Rangka balok atau rangka pelat kolom dengan cor di tempat sesuai dengan persyaratan. KDS D menjadi persyaratan desain seismik yang harus dimiliki oleh bangunan yang ditinjau.
- Sistem rangka pemikul momen khusus atau (*Special Moment Frame*) merupakan sistem yang digunakan sebuah bangunan untuk menahan gaya lentur dan geser yang memiliki KDS D, E, dan F.
- Sistem rangka pemikul momen menengah atau (*Intermediate Moment Frame*) merupakan sistem yang menggunakan rangka balok kolom atau rangka kolom dan pelat dua arah tanpa balok yang dicor di tempat.

Pada bangunan Kos 3 Lantai di Yogyakarta, menerapkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (*Special Moment Frame*). Bangunan yang ditinjau menggunakan sistem rangka ini karena dirancang untuk menahan gaya lentur dan geser yang memiliki KDS D, E, dan F.

2.4 Perencanaan Pembebanan Struktur

Bangunan Kos di Yogyakarta berupa 1 bangunan yang memiliki 3 lantai. Dalam perhitungan perencanaan pembebanan struktur menyesuaikan dengan data-data yang telah didapatkan pada *preliminary design*, interpretasi data tanah, dan penentuan kelas situs. Langkah-langkah dalam menentukan pembebanan gedung sebagai berikut:

1. Koefisien Respon Seismik (C_s)

Perhitungan koefisien respon seismik menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{T_e}\right)} \\ &= \frac{0,7434}{\left(\frac{8}{1}\right)} \\ &= 0,0929 \end{aligned}$$

Jika $T < T_L$ nilai C_s tidak perlu melebihi nilai dari:

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{T_e}\right)} \\ &= \frac{0,7215}{0,7217\left(\frac{8}{1}\right)} \\ &= 0,1249 \end{aligned}$$

Nilai C_s tidak boleh lebih kecil daripada $C_{s\min}$ yaitu:

$$\begin{aligned} C_{s\min} &= 0,044S_{DS}l_e \\ &= 0,044 \times 0,7434 \times 1 \end{aligned}$$

$$= 0,0327$$

dan

$$C_{s \min} = 0,01$$

Sehingga nilai C_s yang digunakan 0,0929

2. Berat Seismik Efektif Bangunan

Sebelum melakukan perhitungan rencana beban, perlu mengetahui berat seismik efektif pada bangunan yang ditinjau. Untuk mengetahui berat seismik efektif bangunan perlu menghitung berat satuan atap, berat satuan lantai tipikal, berat satuan kolom dan balok.

a. Berat Satuan Lantai Atap

Tebal pelat atap yang digunakan sebesar 130 mm, plafond dan MEP sebesar $0,68 \text{ kN}/\text{m}^2$. Untuk menghitung berat sendiri pelat menggunakan rumus:

$$\text{Berat sendiri pelat} = t \times \text{berat volume}$$

$$= 0,13 \times 24$$

$$= 3,12 \text{ kN}/\text{m}^2$$

Data *Dead Load* merupakan penjumlahan dari data yang diketahui yaitu sebesar $3,8 \text{ kN}/\text{m}^2$. Untuk input pembebanan pada pemodelan dikurangi beban pelat sendiri sebesar $3,12 \text{ kN}/\text{m}^2$, sehingga dimasukkan data *Dead Load* sebesar $0,68 \text{ kN}/\text{m}^2$.

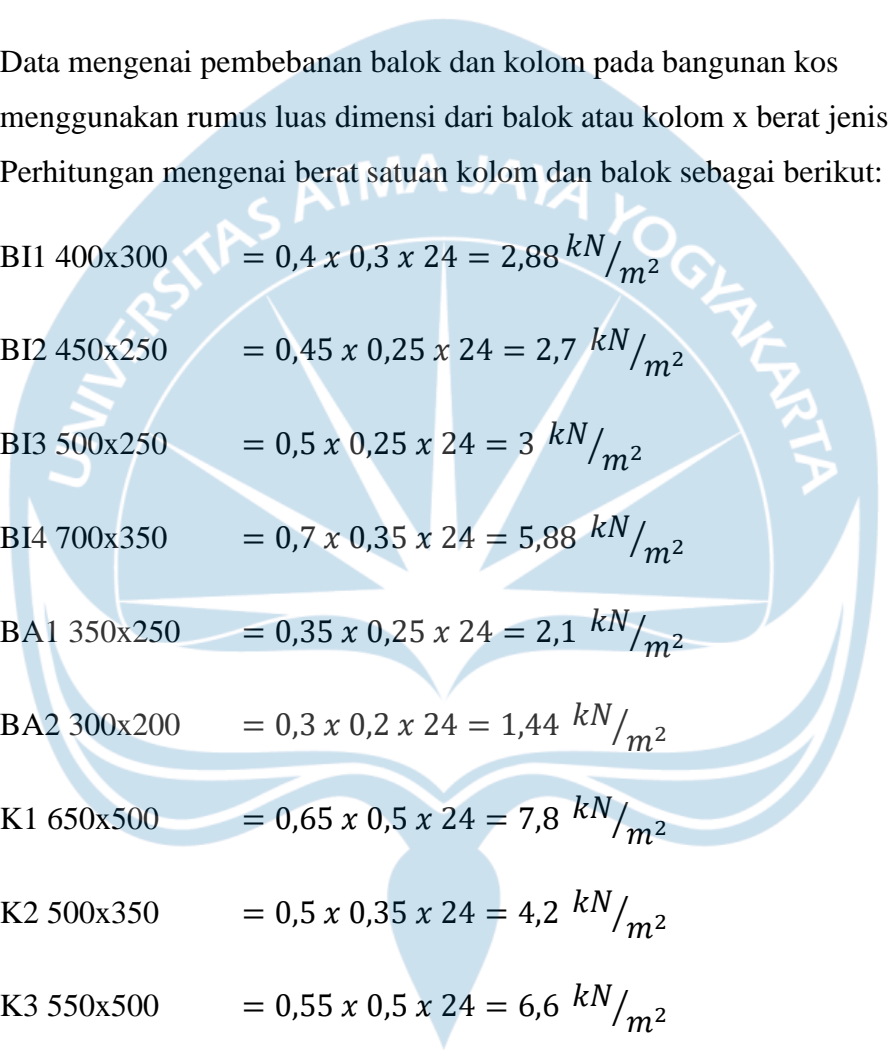
b. Berat Satuan Lantai Tipikal

Tebal pelat lantai sebesar 130 mm, pasir 5 cm sebesar $0,9 \text{ kN}/\text{m}^2$, spasi dan ubin 5 cm sebesar $1,05 \text{ kN}/\text{m}^2$, MEP 5 cm sebesar $1,05 \text{ kN}/\text{m}^2$, dan plafon sebesar $0,18 \text{ kN}/\text{m}^2$. Dari data yang diketahui maka hasil *Dead Load*

merupakan penjumlahan dari seluruh data sehingga menghasilkan beban sebesar $5,75 \text{ kN}/\text{m}^2$. Namun, saat melakukan *input* pada *software* harus dikurangi berat sendiri pelat sehingga didapatkan nilai *input* beban mati sebesar $2,63 \text{ kN}/\text{m}^2$.

c. Berat Satuan Kolom dan Balok

Data mengenai pembebanan balok dan kolom pada bangunan kos menggunakan rumus luas dimensi dari balok atau kolom x berat jenis beton. Perhitungan mengenai berat satuan kolom dan balok sebagai berikut:



BI1 400x300	$= 0,4 \times 0,3 \times 24 = 2,88 \text{ kN}/\text{m}^2$
BI2 450x250	$= 0,45 \times 0,25 \times 24 = 2,7 \text{ kN}/\text{m}^2$
BI3 500x250	$= 0,5 \times 0,25 \times 24 = 3 \text{ kN}/\text{m}^2$
BI4 700x350	$= 0,7 \times 0,35 \times 24 = 5,88 \text{ kN}/\text{m}^2$
BA1 350x250	$= 0,35 \times 0,25 \times 24 = 2,1 \text{ kN}/\text{m}^2$
BA2 300x200	$= 0,3 \times 0,2 \times 24 = 1,44 \text{ kN}/\text{m}^2$
K1 650x500	$= 0,65 \times 0,5 \times 24 = 7,8 \text{ kN}/\text{m}^2$
K2 500x350	$= 0,5 \times 0,35 \times 24 = 4,2 \text{ kN}/\text{m}^2$
K3 550x500	$= 0,55 \times 0,5 \times 24 = 6,6 \text{ kN}/\text{m}^2$
K4 400x350	$= 0,4 \times 0,35 \times 24 = 3,36 \text{ kN}/\text{m}^2$
K5 300x300	$= 0,3 \times 0,3 \times 24 = 2,16 \text{ kN}/\text{m}^2$

Setelah mendapatkan berat satuan untuk balok dan kolom, berat seismik efektif bangunan tiap lantai dapat dihitung dengan menjumlahkan besar pelat

lantai, balok, dan kolom yang ada pada masing-masing lantai. Perhitungan pelat lantai, balok, dan kolom menggunakan rumus sebagai berikut:

Pelat lantai = luas lantai x berat satuan lantai

Balok = jumlah balok x bentang balok x berat satuan balok

Kolom = jumlah kolom x tinggi lantai x berat satuan kolom

Sehingga, didapatkan hasil dari rumus tersebut untuk lantai satu sebagai berikut:

Pelat lantai = luas lantai x berat satuan lantai

Balok = (dimensi balok x panjang balok) x berat satuan balok

Kolom = jumlah kolom x tinggi lantai x berat satuan kolom

Untuk perhitungan lantai satu menggunakan rumus tersebut sebagai berikut:

Pelat lantai = $(22,5 \times 10,65 + 11,95 \times 1,13 + 7,5 \times 1,3 + 2,5 \times 4,575 - 3 \times 4,1) \times 5,75 = 1506,592 \text{ kN}$

BI1 = $10 \times 4,1 \times 2,88 = 118,4 \text{ kN}$

BI2 = $16 \times 3 \times 2,7 = 129,6 \text{ kN}$

BI3 = $(5 \times 2,45 + 4 \times 3) \times 3 = 72,75 \text{ kN}$

BI4 = $12 \times 2,5 \times 5,88 = 176,4 \text{ kN}$

BA1 = $(10 \times 4,1 + 2 \times 4,575 + 3 \times 2,5 + 2,45) \times 2,1 = 126,21 \text{ kN}$

BA2 = $(4 \times 2,45 + 2 \times 1 + 2 \times 1,5 + 5 \times 1,3 + 5 \times 1,13) \times 1,44 = 38,808 \text{ kN}$

K1 = $8 \times 3,5 \times 7,8 = 218,4 \text{ kN}$

K2 = $12 \times 3,5 \times 4,2 = 176,4 \text{ kN}$

Berat seismik efektif (W1) adalah penjumlahan dari perhitungan pelat lantai, balok, dan kolom sehingga didapatkan total sebesar 2563,56 kN. Untuk perhitungan lantai dua menggunakan rumus tersebut sebagai berikut:

$$\text{Pelat lantai} = (23,63 \times 10,65 + 2,5 \times 4,575 - 3 \times 4,1) \times 5,75 = 1442,08275 \text{ kN}$$

$$\text{BI1} = 10 \times 4,1 \times 2,4 = 118,08 \text{ kN}$$

$$\text{BI2} = 16 \times 3 \times 2,7 = 129,6 \text{ kN}$$

$$\text{BI3} = (5 \times 2,45 + 4 \times 3) \times 3 = 72,75 \text{ kN}$$

$$\text{BI4} = 12 \times 2,5 \times 5,88 = 176,4 \text{ kN}$$

$$\text{BA1} = (10 \times 4,1 + 2 \times 4,575 + 2,45) \times 2,1 = 110,46 \text{ kN}$$

$$\text{BA2} = (4 \times 2,45 + 2 \times 1 + 2 \times 1,5 + 4 \times 1,13) \times 1,44 = 27,8208 \text{ kN}$$

$$\text{K3} = 8 \times 3,5 \times 6,6 = 184,8 \text{ kN}$$

$$\text{K4} = 12 \times 3,5 \times 3,36 = 141,12 \text{ kN}$$

Berat seismik efektif (W2) adalah penjumlahan dari perhitungan pelat lantai, balok, dan kolom sehingga didapatkan total sebesar 2403,43355 kN. Untuk perhitungan lantai tiga menggunakan rumus tersebut sebagai berikut:

$$\text{Pelat lantai} = (22,5 \times 2,45 + 3 \times 4,1) \times 5,75 = 387,69375 \text{ kN}$$

$$\text{BI1} = 135,05 \times 2,88 = 388,944 \text{ kN}$$

$$\text{BA2} = 4 \times 2,45 \times 1,44 = 14,112 \text{ kN}$$

$$\text{K5} = 20 \times 3,5 \times 2,16 = 151,2 \text{ kN}$$

Berat seismik efektif (W3) adalah penjumlahan dari perhitungan pelat lantai, balok, dan kolom sehingga didapatkan total sebesar 941,94975 kN. Untuk perhitungan lantai atap menggunakan rumus tersebut sebagai berikut:

$$\text{Pelat lantai} = 6,55 \times 3 \times 3,12 = 61,308 \text{ kN}$$

$$BI1 = 22,1 \times 2,88 = 63,648 \text{ kN}$$

$$K5 = 6 \times 2,5 \times 2,16 = 32,4 \text{ kN}$$

Berat seismik efektif (W4) adalah penjumlahan dari perhitungan pelat lantai, balok, dan kolom sehingga didapatkan total sebesar 157,356 kN. Didapatkan perhitungan berat mati total (W) dengan menjumlahkan W1, W2, W3, dan W4 yaitu 6066,2993 kN. Dengan data yang diketahui dapat menghitung gaya geser dasar (V) menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W \\ &= 0,0929 \times 6066,2993 \\ &= 563,559 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Beban Gempa Metode Statik Ekuivalen

Untuk pengecekan syarat, diperlukan beban gempa metode statik ekuivalen dengan cara sebagai berikut:

$$K = 0,5T + 0,75$$

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

Sehingga didapatkan data untuk perhitungan beban gempa metode statik ekuivalen sebagai berikut:

Tabel 2.2 Rekapitulasi Beban Gempa

Lantai	w (kN)	h (m)	w.h ^k	Cvx	Fx (kN)
4	157,356	13	1965,248526	0,05366972	30,2569596
3	941,94975	10,5	9533,611576	0,26035705	146,779451
2	2403,43355	7	16320,09219	0,44569164	251,264083
1	2563,56	3,5	8798,499306	0,24028158	135,461665
Jumlah	6066,2993		36617,4516		563,762159

Dari beban gempa yang didapatkan maka perlu dihitung pengaruh gempa horizontal dan vertikal dengan rumus sebagai berikut:

Pengaruh gempa horizontal (E_h) = $\rho \times Q$

Keterangan: ρ = faktor redudansi (untuk KDS D, E, dan F menggunakan 1,3)

Q = pengaruh gaya gempa horizontal dari V

$$E_h = \rho \times Q$$

$$= 1,3 \times 563,762159$$

$$= 732,890807 \text{ kN}$$

Pengaruh gempa vertikal (E_v) = $0,2 \times S_{DS} \times D$

Keterangan: D = *Dead Load*

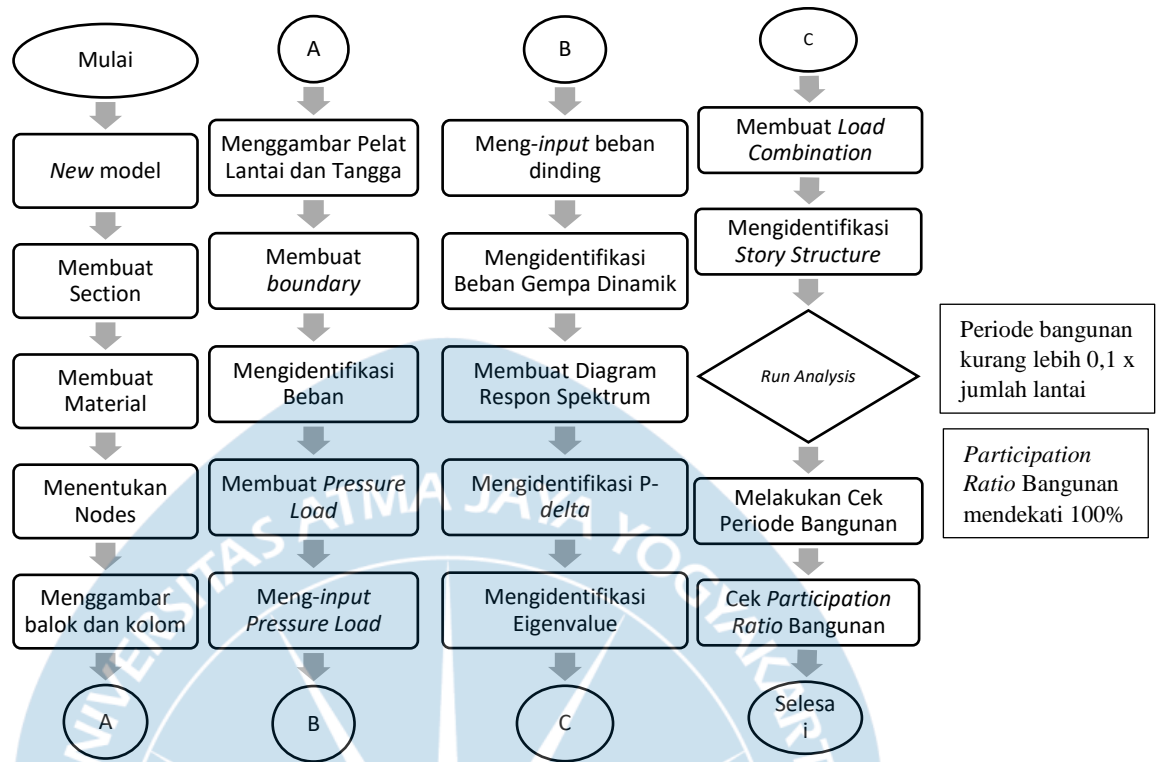
$$(E_v) = 0,2 \times S_{DS} \times D$$

$$= 0,2 \times 0,7434 \times 5,75$$

$$= 0,85491$$

2.5 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur Kos 3 lantai di Yogyakarta ini menggunakan *software* Midas dengan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar 2.7 Langkah-Langkah Pemodelan Gedung

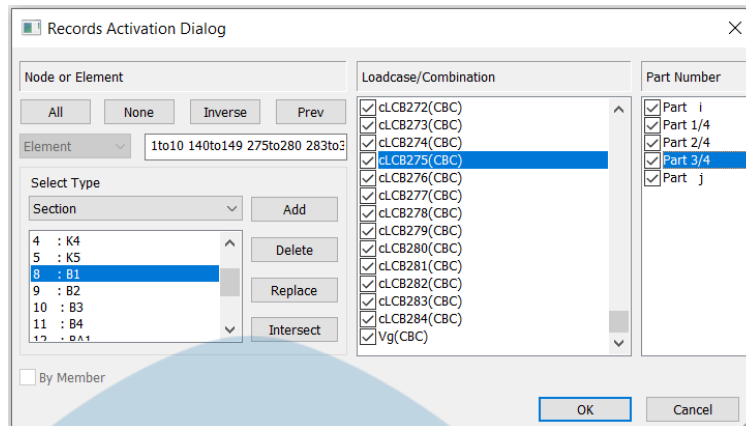
2.6 Interpretasi Output Pemodelan

Pengambilan *output* dari pemodelan Kos 3 lantai di Yogyakarta menggunakan midas sebagai berikut:

2.6.1 Pengambilan Gaya Dalam Balok

Pengambilan gaya dalam pada balok dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- i. *Running analysis* pada pemodelan struktur yang telah siap.
- ii. Melakukan cek periode bangunan dan *participation ratio*.
- iii. Melakukan pembacaan gaya dengan menekan tombol *result table* > *Force* > Pilih section balok yang akan ditinjau > Centang seluruh *load combination* dan part balok > Tekan OK.



Gambar 2.8 Input Data Pembacaan Balok

- iv. *Output* dari Midas pada section balok ini dapat diambil *Moment-Y* serta *Shear-Z* dengan cara mencari gaya yang terbesar pada daerah tumpuan dan lapangan menggunakan Excel.

Elem	Load	Part	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
1	RC EN	I[52]	8.06	1.50	-64.25	-2.64	-61.76	0.68
1	RC EN	1/4	8.06	1.50	-63.68	-2.64	-48.64	0.37
1	RC EN	2/4	8.06	1.50	-63.10	-2.64	-35.65	0.07
1	RC EN	3/4	8.06	1.50	-62.52	-2.64	-22.78	-0.26
1	RC EN	J[593]	8.06	1.50	-61.94	-2.64	12.30	-0.56
2	RC EN	I[54]	5.90	1.51	-62.51	-2.42	-59.87	0.66
2	RC EN	1/4	5.90	1.51	-61.93	-2.42	-47.11	0.35
2	RC EN	2/4	5.90	1.51	-61.35	-2.42	-34.48	0.05
2	RC EN	3/4	5.90	1.51	-60.77	-2.42	-21.96	-0.27
2	RC EN	J[673]	5.90	1.51	-60.19	-2.42	10.62	-0.58
3	RC EN	I[56]	-60.44	5.21	-36.90	7.71	-42.94	3.20
3	RC EN	1/4	-60.44	5.21	-36.10	7.71	-35.46	2.13
3	RC EN	2/4	-60.44	5.21	-35.31	7.71	-28.15	1.06
3	RC EN	3/4	-60.44	5.21	-34.52	7.71	-21.00	0.15
3	RC EN	J[355]	-60.44	5.21	-33.72	7.71	-14.01	-1.08
4	RC EN	I[58]	13.86	-1.36	-56.48	4.07	-56.37	-0.57
4	RC EN	1/4	13.86	-1.36	-55.68	4.07	-43.88	-0.29
4	RC EN	2/4	13.86	-1.36	-54.89	4.07	-32.55	-0.04
4	RC EN	3/4	13.86	-1.36	-54.10	4.07	-21.40	0.27
4	RC EN	J[320]	13.86	-1.36	-53.30	4.07	-10.41	0.55
5	RC EN	I[60]	57.51	4.20	-39.62	-9.72	-42.69	2.42
5	RC EN	1/4	57.51	4.20	-38.83	-9.72	-34.69	-1.59
5	RC EN	2/4	57.51	4.20	-38.03	-9.72	-26.86	-0.78
5	RC EN	3/4	57.51	4.20	-37.24	-9.72	-19.19	-0.30
5	RC EN	J[240]	57.51	4.20	-36.44	-9.72	-11.68	-1.02
6	RC EN	I[62]	5.60	1.48	-69.46	5.49	-53.48	0.69

Gambar 2.9 Output Midas

- v. Rekap data gaya dalam balok sebagai berikut:

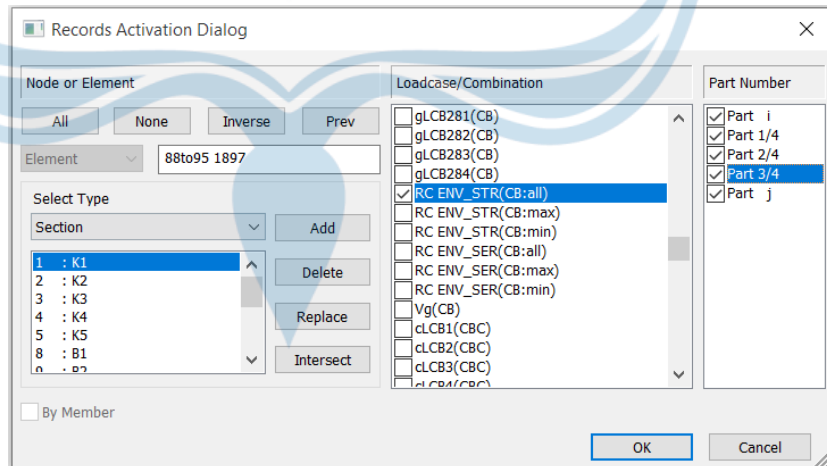
Tabel 2.3 Data Gaya Dalam Balok

No.	Nama	Mu Tumpuan (kNm)		Mu Lapangan (kNm)		Vu Kiri	Vu Kanan	Vg
		Negatif	Positif	Negatif	Positif			
1.	BI1	67,91	25,83	30,97	25,52	82,3	82,3	56,9
2.	BI2	81,27	39,17	32,7	31,56	71,66	71,66	64,6
3.	BI3	95,17	81,21	79,82	68,27	86,06	86,06	42,75
4.	BI4	270,14	119,94	159,12	125,93	179,7	179,7	149,03

2.6.2 Pengambilan Gaya Dalam Kolom

Pengambilan gaya dalam pada kolom dilakukang dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- i. *Running analysis* pada pemodelan struktur yang telah siap.
- ii. Melakukan cek periode bangunan dan *participation ratio*.
- iii. Melakukan pembacaan gaya dengan menekan tombol *result table* > *Force* > Pilih section kolom yang akan ditinjau > Centang *envelope load combination* dan part kolom > Tekan OK.



Gambar 2.10 Input Data Pembacaan Kolom

- iv. *Output* dari Midas pada section kolom ini dapat diambil *Axial* untuk mencari Pu-min dan Pu-max serta *Moment-Z* dan *Moment -Y* untuk mencari nilai Mu-max dan Mu-min dengan cara mencari

gaya yang terbesar pada daerah tumpuan dan lapangan menggunakan Excel.

- v. Rekap data gaya dalam kolom sebagai berikut:

Tabel 2.4 Data Gaya Dalam Kolom

No.	Pu-min	Pu-max	M2-min	M2-max	M3-min	M3-max	V2	V3
1.	-1107,9	-109,83	-740,97	240,01	-542,93	542,07	69,37	58,35
2.	-831,45	-50,99	-504,49	487,2	-588,2	360,13	32,42	-60,45
3.	-853,16	-172,17	-685,22	564,29	-691,8	567,1	-98,44	-61,4
4.	-452,55	-35,94	-275,73	261,89	-347,56	161,56	31,05	-41,51
5.	-287,38	-98,13	-119,61	33,95	-80,78	55,31	-19,47	-21,33

2.6.3 Simpangan Antar Lantai

Kos 3 lantai menggunakan jenis struktur beton SRPMK dengan desain *force deflection* (δ_{xe}) dapat dilihat pada *Story Displacement* (Midas) dengan sehingga didapatkan tabel berikut:

Tabel 2.5 Data *force deflection* arah X

Lantai	δ_{xe}
Pelat dak	13,3
3	13,5
2	5,3
1	0,8

Untuk menghitung pusat masa ditingkat x maka digunakan persamaan:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Untuk perhitungan simpangan izin antar tingkat digunakan persamaan:

$$\frac{\Delta_a}{\rho} = \frac{0,025h}{1,3}$$

Untuk perhitungan simpangan dapat digunakan persamaan:

$$\Delta = \delta x_i - \delta x(i - 1)$$

Sehingga, perhitungan untuk simpangan antar lantai disajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 2.6 Data Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	hx (mm)	h (mm)	δx_e	δx	Δ	$\frac{\Delta_a}{\rho}$	Ket
Pelat dak	13000	2500	13,3	73,15	-1,1	48,07692	OK
3	10500	3500	13,5	74,25	45,1	67,30769	OK
2	7500	3500	5,3	29,15	24,75	67,30769	OK
1	3500	3500	0,8	4,4	4,4	67,30769	OK

Tabel 2.7 Data force deflection arah Y

Lantai	δx_e
Pelat dak	9,4
3	6,5
2	3,5
1	0,4

Tabel 2.8 Data Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	hx (mm)	h (mm)	δx_e	δx	Δ	$\frac{\Delta_a}{\rho}$	Ket
Pelat dak	13000	2500	9,4	51,7	15,95	48,07692	OK
3	10500	3500	6,5	35,75	16,5	67,30769	OK
2	7500	3500	3,5	19,25	17,05	67,30769	OK
1	3500	3500	0,4	2,2	2,2	67,30769	OK

2.7 Perancangan Struktur Atap

2.7.1 Perencanaan Gording

Diketahui:

Jarak antar gording	: 1 m
Derajat kemiringan atap	: 20°
Jarak antar kuda-kuda	: 6 m = 6000 mm
Massa atap genteng beton	: 13 kg = 0.13 kN
Berat gording	: 6 kg/m'
F_y	: 240 MPa
Tiupan angin	: 0,25 kN/m ²
Jumlah sagrod	: 5 buah
E_s	: 200.000
Berat kuda-kuda	: 0,5 kg/m
Berat plafond	: 0

Dalam perencanaan atap gedung, penulis memilih profil kanal C 125 x 50 x 20
thickness 2,8

1. Beban Gording

Beban sendiri = 5,96 kg/m' = 0,0596 kN/m'

$$\text{Beban atap} = \frac{\text{jarak antar gording}}{\cos \alpha} \times \text{berat atap}$$

$$\text{Beban atap} = \frac{1}{\cos 20} \times 0,13$$

$$\text{Beban atap} = 0,138 \text{ kN/m'}$$

Dead Load (D) rencana gording (q) = beban sendiri + berat atap +
berat plafond

Dead Load (D) rencana gording (q) = $0,0596 + 0,138 + 0$

Dead Load (D) rencana gording (q) = $0,198 \text{ kN/m}'$

Beban hidup (L) diambil sebesar = $1 \text{ kN} = 1000 \text{ N}$

2. Rencana Momen Gording

Beban gording arah sumbu 2 menggunakan rumus:

$$M_{2,D} = \frac{1}{8} q \cos \alpha L^2$$

$$M_{2,D} = \frac{1}{8} \times 0,198 \cos 20 \times 6^2$$

$$M_{2,D} = 0,837 \text{ kN/m}'$$

$$M_{2,L} = \frac{1}{4} P \cos \alpha L$$

$$M_{2,L} = \frac{1}{4} \times 1 \times \cos 20 \times 6$$

$$M_{2,L} = 1,410 \text{ kNm}'$$

$$M_{2,U1} = 1,4 M_{2,D} = 1,4 \times 0,837 = 1,172 \text{ kN/m}'$$

$$M_{2,U2} = 1,2 M_{2,D} + 1,6 M_{2,L} = 1,4 \times 0,837 + 1,6 \times 1 = 3,260 \text{ kN/m}'$$

Dipilih $M_{2,U2} = 3,260 \text{ kN/m}'$

Beban gording arah sumbu 3 menggunakan rumus:

$$M_{3,D} = \frac{1}{8} q \cos \alpha \left(\frac{L}{6}\right)^2$$

$$M_{3,D} = \frac{1}{8} \times 0,198 \cos 20 \times \left(\frac{6}{6}\right)^2$$

$$M_{3,D} = 0,008 \text{ kN/m}'$$

$$M_{3,L} = \frac{1}{4} P \cos \alpha \frac{L}{6}$$

$$M_{3,L} = \frac{1}{4} \times 1 \times \cos 20 \times \frac{6}{6}$$

$$M_{3,L} = 0,086 \text{ kNm}'$$

$$M_{3,U1} = 1,4 M_{3,D} = 1,4 \times 0,008 = 0,011 \text{ kN/m'}$$

$$M_{3,U2} = 1,2 M_{3,D} + 1,6 M_{3,L} = 1,4 \times 0,008 + 1,6 \times 1 = 0,147 \text{ kN/m'}$$

$$\text{Dipilih } M_{3,U2} = 0,147 \text{ kN/m'}$$

3. Cek tegangan pada Profil C

Digunakan Profil: C 125 x 50 x 20 – 2,8

$$I_3 = I_x = 1.620.000 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = I_y = 240.000 \text{ mm}^4$$

$$W_3 = Z_x = 25.900 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = Z_y = 7.200 \text{ mm}^3$$

$$f_b = \frac{M_{2,U}}{\phi W_3} + \frac{M_{3,U}}{\phi W_2} \leq f_y$$

$$f_b = \frac{3,260}{0,9 \times 25.900} + \frac{0,147}{0,9 \times 7.200} \leq 240$$

$$f_b = 162,539 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa (Aman)}$$

4. Cek defleksi gording

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha L^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha L^3}{EI}$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{0,198 \times \cos 20 \times 6^4}{200.000 \times 1.620.000} + \frac{1}{48} \times \frac{1 \times \cos 20 \times 6^3}{200.000 \times 240.000}$$

$$\delta_2 = 22,742 \text{ mm}$$

$$\delta_3 = \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha}{EI} \times \left(\frac{L}{6}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha}{EI} \times \left(\frac{L}{6}\right)^3$$

$$\delta_3 = \frac{5}{384} \times \frac{0,198 \times \sin 20}{200.000 \times 240.000} \times \left(\frac{6}{6}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{1 \times \sin 20}{200.000 \times 240.000} \times \left(\frac{6}{6}\right)^3$$

$$\delta_3 = 0,167 \text{ mm}$$

$$\delta = \sqrt{\delta_2^2 + \delta_3^2} \leq \frac{1}{240} L$$

$$\delta = \sqrt{22,742^2 + 0,167^2} \leq \frac{1}{240} \times 6.000$$

$$\delta = 22,742 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm (Aman)}$$

2.7.2 Perencanaan Sagrod

1. Rencana sag-rod

$$F_{t,D} = n \left(\frac{L}{3} \times q \times \sin \alpha \right)$$

$$F_{t,D} = 5 \left(\frac{6}{3} \times 0,198 \times \sin 20 \right)$$

$$F_{t,D} = 0,677 \text{ kN}$$

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

$$F_{L,L} = \frac{5}{2} \times 1 \times \sin 20$$

$$F_{L,L} = 0,855 \text{ kN}$$

2. Kombinasi pembebanan

$$F_{t,U1} = 1,4F_{t,D}$$

$$F_{t,U1} = 1,4 \times 0,677$$

$$F_{t,U1} = 0,948 \text{ kN}$$

$$F_{t,U2} = 1,2F_{t,D} + 1,6F_{t,L}$$

$$F_{t,U2} = 1,2 \times 0,677 + 1,6 \times 0,855$$

$$F_{t,U2} = 2,2 \text{ kN}$$

Dipilih $F_{t,u} = 2,2 \text{ kN}$

3. Luas Batang sag-rod yang dibutuhkan

$$A_{sr} = \frac{F_t \times 10^3}{\phi f_y}$$

$$A_{sr} = \frac{2,2 \times 10^3}{0,9 \times 240}$$

$$A_{sr} = 15,085 \text{ kN}$$

2.7.3 Perencanaan Beban Kuda-Kuda

1. Beban P_1 :

$$\text{Berat sendiri kuda – kuda} = \frac{a}{2} \times \text{berat kuda kuda}$$

$$\text{Berat sendiri kuda – kuda} = \frac{1,42}{2} \times 0,5$$

$$\text{Berat sendiri kuda – kuda} = 0,355 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} = L \times \text{berat gording per m'}$$

$$\text{Berat gording} = 6 \times 0,0596$$

$$\text{Berat gording} = 0,36 \text{ kN}$$

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

$$\text{Berat atap} = \frac{\left(\frac{1,42}{2}+0,5\right)}{\cos 20} \times 6 \times 0,138$$

$$\text{Berat atap} = 1,719 \text{ kN}$$

$$\text{Berat } P_1 = \text{Berat sendiri kuda – kuda} + \text{Berat gording} + \text{Berat atap}$$

$$\text{Berat } P_1 = 0,5 + 0,0596 + 0,138$$

$$\text{Berat } P_1 = 1,719 \text{ kN}$$

2. Beban P_2 :

$$\text{Berat sendiri kuda – kuda} = a \times \text{berat kuda kuda}$$

$$\text{Berat sendiri kuda – kuda} = 1,42 \times 0,5$$

$$\text{Berat sendiri kuda – kuda} = 0,36 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} = L \times \text{berat gording per m'}$$

$$\text{Berat gording} = 6 \times 0,0596$$

$$\text{Berat gording} = 0,36 \text{ kN}$$

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

$$\text{Berat atap} = \frac{1,42}{\cos 20} \times 6 \times 0,138$$

$$\text{Berat atap} = 1,179 \text{ kN}$$

Berat $P_2 = \text{Berat sendiri kuda – kuda} + \text{Berat gording} + \text{Berat atap}$

$$\text{Berat } P_2 = 0,36 + 0,36 + 1,179$$

$$\text{Berat } P_2 = 2,249 \text{ kN}$$

3. Beban P_3 :

$$\text{Berat sendiri kuda – kuda} = \frac{a}{2} \times \text{berat kuda kuda}$$

$$\text{Berat sendiri kuda – kuda} = \frac{1,42}{2} \times 0,5$$

$$\text{Berat sendiri kuda – kuda} = 0,355 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} = L \times \text{berat gording per m'}$$

$$\text{Berat gording} = 6 \times 0,0596$$

$$\text{Berat gording} = 0,36 \text{ kN}$$

$$\text{Berat atap} = \frac{\left(\frac{a}{2}\right)}{\cos \alpha} \times L \times \text{berat atap}$$

$$\text{Berat atap} = \frac{\left(\frac{1,42}{2}\right)}{\cos 20} \times 6 \times 0,138$$

$$\text{Berat atap} = 0,589 \text{ kN}$$

Berat $P_3 = \text{Berat sendiri kuda – kuda} + \text{Berat gording} + \text{Berat atap}$

$$\text{Berat } P_3 = 0,355 + 0,36 + 0,589$$

$$\text{Berat } P_3 = 1,304 \text{ kN}$$

2.7.4 Beban Angin

$$C_{ti} = C_{is} = 0,3$$

$$\text{Beban } W_1 = \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w$$

$$\text{Beban } W_1 = \frac{\left(\frac{1,42}{2}+0,5\right)}{\cos 20} \times 0,3 \times 6 \times 0,25$$

$$\text{Beban } W_1 = 0,579 \text{ kN}$$

$$\text{Beban } W_2 = \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w$$

$$\text{Beban } W_2 = \frac{1,42}{\cos 20} \times 0,3 \times 6 \times 0,25$$

$$\text{Beban } W_2 = 0,680 \text{ kN}$$

$$\text{Beban } W_3 = \frac{1}{2} \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w$$

$$\text{Beban } W_3 = \frac{1}{2} \frac{1,42}{\cos 20} \times 0,3 \times 6 \times 0,25$$

$$\text{Beban } W_3 = 0,340 \text{ kN}$$

2.7.5 Perencanaan Desain Elemen Kuda-Kuda

1. Properti Profil

Profil: L 40x40x3-10

$$A = 233,6 \text{ mm}^2$$

$$I_x = I_y = 35.300 \text{ mm}^3$$

$$C_x = C_y = 10,9 \text{ mm}$$

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

$$G = 77.200$$

$$b = 40 \text{ mm}$$

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

$$J = \frac{1}{3} b t^3$$

$$J = \frac{1}{3} \times 40 \times 3^3$$

$$J = 853,333 \text{ mm}^3$$

Properti Profil Gabungan 2L 40 x 40 x 3-10

$$A_g = 2 \times A$$

$$A_g = 2 \times 233,6$$

$$A_g = 467,2 \text{ mm}^2$$

$$i_x = i_y = 12,3 \text{ mm}$$

$$I_{xg} = 2 \times I_x$$

$$I_{xg} = 2 \times 35.300$$

$$I_{xg} = 70.600 \text{ mm}^4$$

$$I_{yg} = \left(I_{xg} + A_g \left(C_y + \frac{T_p}{2} \right)^2 \right)$$

$$I_{yg} = \left(70.600 + 467,2 \left(12,3 + \frac{10}{2} \right)^2 \right)$$

$$I_{yg} = 188.712,832 \text{ mm}^4$$

$$r_{xg} = \sqrt{\frac{I_{xg}}{A_{\text{profil}}}}$$

$$r_{xg} = \sqrt{\frac{70.600}{467,2}}$$

$$r_{xg} = 12,3 \text{ mm}$$

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

$$r_{yg} = \sqrt{\frac{188.712,832}{467,2}}$$

$$r_{yg} = 20,098 \text{ mm}$$

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

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

$$Y_0 = 10,9 - \frac{4}{2}$$

$$Y_0 = 8,9 \text{ mm}$$

$$\bar{r}_0 = \frac{I_{xg} + I_{yg}}{A} + X_0^2 + Y_0^2$$

$$\bar{r}_0 = \frac{70.600 + 188.712,832}{467,2} + 0^2 + 9,4^2$$

$$\bar{r}_0 = 643,396 \text{ mm}^2$$

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

$$H = 1 - \frac{0^2 + 8,9^2}{643,396}$$

$$H = 0,88$$

2. Batang tekan

2.1 Pemeriksaan Tekuk Lentur

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$$\lambda = \frac{40}{4}$$

$$\lambda = 10$$

$$\lambda_r = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 0,45 \sqrt{\frac{200.000}{240}}$$

$$\lambda_r = 12,99$$

Karena $\lambda < \lambda_r$, maka penampang non langsing

2.2 Pemeriksaan Tekuk Lentur (terhadap sumbu X-X)

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times (6 \times 10^6)}{12,3} = 113,821$$

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

$$F_e = \frac{\pi^2 \times 200.000}{(113,821)^2}$$

$$F_e = 152,365 \text{ MPa}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200.000}{240}} = 135,97$$

Karena $\frac{KL}{r} \leq 4,74 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$, maka F_{cr} menggunakan rumus:

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

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{240}{152,365} \right] \times 240$$

$$F_{cr} = 124,133 \text{ MPa}$$

2.3 Pemeriksaan Terhadap Tekuk Lentur Torsi

$$a = 1,4 \text{ m}$$

$$\frac{a}{r} = \frac{1,4}{152,365} = 113,82$$

Karena $\frac{a}{r} > 40$, maka $\left(\frac{KL}{r}\right)_m$ menggunakan rumus:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{K_1 a}{r_i}\right)^2}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{(113,821)^2 + (0,5 \times 113,82)^2}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = 127,256$$

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

$$F_e = \frac{\pi^2 200.000}{(127,256)^2}$$

$$F_e = 121,891 \text{ MPa}$$

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

$$F_{cry} = 0,877 \times 121,891$$

$$F_{cry} = 106,898 \text{ MPa}$$

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

$$F_{crz} = \frac{77.200 \times 853,333}{467,2 \times 643,396}$$

$$F_{crz} = 222,318 \text{ MPa}$$

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

$$F_{cr} = \left(\frac{106,898 + 222,318}{2 \times 0,88}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 106,898 \times 222,318 \times 0,88}{(106,898 + 222,318)^2}}\right]$$

$$F_{cr} = 97,705 \text{ MPa}$$

2.4 Kekuatan Tekan Desain

$F_{cr} = 124,133 \text{ MPa}$ (Pemeriksaan tekuk lentur)

$F_{cr} = 97,705 \text{ MPa}$ (Pemeriksaan tekuk lentur torsi)

Dipilih F_{cr} yang memiliki nilai yang lebih kecil yaitu $F_{cr} = 97,705 \text{ MPa}$

$$\phi_c P_n = 0,9 \times F_{cr} \times A_g$$

$$\phi_c P_n = 0,9 \times 97,705 \times 467,2$$

$$\phi_c P_n = 41.083 \text{ N} = 41,083 \text{ kN} > \text{Gaya tekan maksimum} = 17,8 \text{ (Aman)}$$

3. Batang tarik

3.1 Perhitungan Kelangsingan Batang Tarik

$$\lambda = \frac{L}{t} = \frac{1,31}{12,3} = 106,504 < 300 \text{ (OK)}$$

3.2 Pemeriksaan Leleh Tarik

$$\phi P_n = F_y A_g$$

$$\phi P_n = 420 \times 467,2$$

$$\phi P_n = 112,128 \text{ kN}$$

Karena $\phi P_n = 112,128 \text{ kN} > P_u = 16,7 \text{ kN}$, maka profil aman

2.7.6 Perencanaan Sambungan Kuda-Kuda

1. Parameter

Lebar pelat = 250 mm

Diameter lubang = 22 mm

Diameter baut = 20 mm

Tebal pelat = 6 mm

$F_u = 370 \text{ MPa}$

$P_u = 112,128 \text{ kN}$

$F_y = 240 \text{ MPa}$

$A_g = 6 \times 250 = 1.500 \text{ mm}^2$

2. Pemeriksaan leleh tarik pada penampang bruto

$A_g = \text{lebar pelat} \times \text{tebal pelat}$

$$A_g = 1.500 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = 0,9 F_y A_g$$

$$\phi P_n = 324.000 \text{ N}$$

$$\phi P_n = 324 \text{ kN} > P_u = 112,128 \text{ kN (Aman)}$$

3. Pemeriksaan keruntuhan tarik pada penampang netto

$$A_n = [250 - 2(22 + 2) \times 6]$$

$$A_n = 1.212 \text{ mm}^2$$

$$\text{Max } A_n = 0,85 A_g$$

$$\text{Max } A_n = 0,85 \times 1.500$$

$$\text{Max } A_n = 1.275 \text{ mm}^2$$

$$A_e = A_n = 1.212 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = 0,75 F_u A_e$$

$$\phi P_n = 0,75 \times 370 \times 1.212$$

$$\phi P_n = 336.330 \text{ N}$$

$$\phi P_n = 336,33 \text{ kN} > P_u = 112,128 \text{ kN}$$

4. Kekuatan tumpu baut

$$R_n = 2,4 d t F_u$$

$$R_n = 2,4 \times 20 \times 6 \times 370$$

$$R_n = 106.560 \text{ N}$$

$$R_n = 106,56 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 0,75 R_n$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 106,56$$

$$\phi R_n = 79,92 \text{ kN}$$

5. Kekuatan geser baut

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

$$R_n = 457 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 20^2 \right) (2)$$

$$R_n = 287.142 \text{ N}$$

$$R_n = 287,142 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times R_n$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 287,142$$

$$\phi R_n = 215,356 \text{ kN}$$

Dipilih nilai terkecil dari kekuatan tumpu baut dan kekuatan geser baut, yaitu

$$\phi R_n = 79,92 \text{ kN}$$

6. Perhitungan jumlah baut

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

$$\text{Jumlah baut} = 1,403 \approx 2 \text{ baut}$$

2.8 Perencanaan Balok

2.8.1. Balok Anak

Bedasarkan Tabel 21.2.2 SNI 2847:2019 diperlukan faktor reduksi untuk mencari nilai kekuatan nominal komponen struktur yang mengalami momen, atau kombinasi momen dan gaya aksial yang dapat dilihat pada Gambar berikut:

Tabel 21.2.2 – Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

Regangan tarik netto (ϵ_t)	Klasifikasi	ϕ			
		Jenis tulangan transversal			
		Spiral sesuai 25.7.3		Tulangan lainnya	
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Tekanan terkontrol	0,75	a)	0,65	b)
$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$	Transisi ^[1]	$0,75 + 0,15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$	c)	$0,65 + 0,25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$	d)
$\epsilon_t \geq 0,005$	Tegangan terkontrol	0,90	e)	0,90	f)

^[1] Untuk penampang transisi, diperbolehkan memakai nilai faktor kekuatan sama dengan penampang terkontrol tekan

Gambar 2.11 Tabel SNI 2847:2019

Gaya dan regangan balok menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$C_s = A'_s (f_s - 0,85 f'_c)$$

Perhitungan tulangan tunggal menggunakan persamaan:

$$M_n = 0,85 f'_c \times a \times b \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Untuk balok anak tipe 1 menggunakan dimensi balok 250 x 350. Data-data yang dihitung pada balok anak sebagai berikut:

Selimut beton (C_c) = 40 mm

$f_c' = 30$ MPa

$f_y = 420$ MPa

$f_{yt} = 280$ MPa

Hasil pembebanan terhadap balok anak diambil dari Midas dan mendapat nilai sebagai berikut:

$M_{u,tumpuan} = 14,4$ kNm

$M_{u,lapangan} = 15,4$ kNm

$D_{longitudinal} = 13$ mm

$$D_{\text{senggang}} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi bersih (d)} = 293,5 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9$$

- Untuk mencari tulangan longitudinal yang digunakan pada tumpuan balok anak digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\alpha = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi \cdot 0,085 f_c' b}}$$

$$\alpha = 293,5 - \sqrt{293,5^2 - \frac{2 \times 14,4 \times 10^6}{0,9 \times 0,085 \times 30 \times 250}}$$

$$\alpha = 8,6796 \text{ mm}$$

Karena nilai f_c' yang digunakan adalah 30 MPa maka untuk nilai β digunakan rumus sebagai berikut:

$$\beta = 0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$$

$$\beta = 0,85 - \frac{0,05(30 - 28)}{7}$$

$$\beta = 0,8357$$

$$c = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{8,6796}{0,8357} = 10,3859 \text{ mm}$$

$$c_{\text{max}} = 0,375d = 0,375 \times 295 = 110,625 \text{ mm}$$

Karena $c < c_{\text{max}}$ maka untuk faktor reduksi digunakan 0,9

$$A_{s,\text{perlu}} = \frac{M_u}{\phi f_y (d - \frac{\alpha}{2})} = \frac{14,4 \times 10^6}{0,9 \times 420 \times (295 - \frac{8,634}{2})} = 131,0543 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s,\text{perlu}}}{A_{s,\text{senggang}}} = \frac{131,0543}{0,25\pi \times 10^2} = 1,6686$$

Digunakan tulangan minimum $n = 2D13$

$$A_{s,\text{use}} = 0,25 \cdot n \cdot \pi \cdot D^2 = 0,25 \times 2 \times \pi \times 13^2 = 265,4646 \text{ mm}^2$$

Cek syarat A_s terhadap $A_{s,\text{min}}$ dan $A_{s,\text{max}}$

$$A_{s,\min} = \frac{1,4}{f_y} b d = \frac{1,4}{420} \times 250 \times 293,5 = 244,5833 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\max} = \frac{0,36 \beta_1 f_c'}{f_y} b d = \frac{0,36 \times 0,8357 \times 30}{420} \times 250 \times 293,5 = 1576,814 \text{ mm}^2$$

$A_{s,\min} < A_{s,\text{use}} \dots$ Oke

$A_{s,\max} > A_{s,\text{use}} \dots$ Oke

Tulangan longitudinal pada tumpuan yang digunakan yaitu 2D13

- Untuk mencari tulangan longitudinal yang digunakan pada lapangan balok anak digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\alpha = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi \cdot 0,085 f_c' b}}$$

$$\alpha = 293,5 - \sqrt{293,5^2 - \frac{2 \times 15,4 \times 10^6}{0,9 \times 0,085 \times 30 \times 250}}$$

$$\alpha = 9,292 \text{ mm}$$

Karena nilai f_c' yang digunakan adalah 30 MPa maka untuk nilai β digunakan rumus sebagai berikut:

$$\beta = 0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$$

$$\beta = 0,85 - \frac{0,05(30 - 28)}{7}$$

$$\beta = 0,8357$$

$$c = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{9,292}{0,8357} = 11,119 \text{ mm}$$

$$c_{\max} = 0,375d = 0,375 \times 295 = 110,625 \text{ mm}$$

Karena $c < c_{\max}$ maka untuk faktor reduksi digunakan 0,9

$$A_{s,\text{perlu}} = \frac{M_u}{\phi f_y (d - \frac{\alpha}{2})} = \frac{14,4 \times 10^6}{0,9 \times 420 \times (295 - \frac{9,634}{2})} = 141,043 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s,\text{perlu}}}{A_{s,\text{sengkang}}} = \frac{131,0543}{0,25\pi \times 10^2} = 1,063$$

Digunakan tulangan minimum $n = 2D13$

$$A_{s.use} = 0,25 \cdot n \cdot \pi \cdot D^2 = 0,25 \times 2 \times \pi \times 13^2 = 265,4646 \text{ mm}^2$$

Cek syarat A_s terhadap $A_{s.min}$ dan $A_{s.max}$

$$A_{s.min} = \frac{1,4}{f_y} b d = \frac{1,4}{420} \times 250 \times 293,5 = 244,5833 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.max} = \frac{0,36 \beta_1 f_c'}{f_y} b d = \frac{0,36 \times 0,8357 \times 30}{420} \times 250 \times 293,5 = 1576,814 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.min} < A_{s.use} \dots \text{Oke}$$

$$A_{s.max} > A_{s.use} \dots \text{Oke}$$

Tulangan longitudinal pada lapangan yang digunakan yaitu 2D13

- Cek Tulangan Geser pada Tumpuan

$$V_u = 19,21 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\lambda = 1$$

$$\phi V_c = \phi 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d = 0,75 \times 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 250 \times 293,5 = 51.241,16 \text{ N}$$

$$= 51,241 \text{ kN}$$

Cek kebutuhan tulangan geser $\phi V_c < V_u = 51,241 > 19,21 \dots$ Hanya memerlukan tulangan minimum.

Untuk spasi sengkang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari S_{maks}

$$S_{maks1} = d/2 = 293,5/2 = 146,75 \text{ mm}$$

$$S_{maks2} = 600 \text{ mm}$$

Sehingga untuk tulangan sengkang pada bagian tumpuan digunakan 2D

- Cek Tulangan Geser pada Lapangan

$$V_u = 12,6 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\lambda = 1$$

$$\phi V_c = \phi 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d = 0,75 \times 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 250 \times 293,5 = 51.241,16 \text{ N}$$

$$= 51,241 \text{ kN}$$

Cek kebutuhan tulangan geser $\phi V_c < V_u = 51,241 > 12,6 \dots$ Hanya memerlukan tulangan minimum.

Untuk spasi sengkang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari S_{maks}

$$S_{maks1} = d/2 = 293,5/2 = 146,75 \text{ mm}$$

$$S_{maks2} = 600 \text{ mm}$$

Sehingga untuk tulangan sengkang pada bagian lapangan digunakan 2D – 140

Untuk data perhitungan balok anak tipe 2 ditampilkan pada tabel rekap sebagai berikut:

Tabel 2.9 Data Dimensi Balok Anak

Keterangan	Balok Anak Tipe 2
b (mm)	200
h (mm)	300
c _c (mm)	40
f _c ' (MPa)	30
f _y (MPa)	420
f _{yt} (MPa)	280
M _{u,tumpuan} (kNm)	-5,9
M _{u,lapangan} (kNm)	4,3
D _{longitudinal} (mm)	10
D _{sengkang} (mm)	10
d (mm)	245
φ	0,9

Tabel 2.10 Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok Anak

Keterangan	Tumpuan	Lapangan
α (mm)	5,304	3,854
β	0,836	0,836
c _{max} (mm)	6,347	4,612
Syarat φ	Memenuhi	Memenuhi
A _{s,perlu} (mm ²)	64,405	91,875
n	3D10	3D10
A _{s,use} (mm ²)	235,619	235,619
A _{s,min} (mm ²)	163,333	163,333
A _{s,max} (mm ²)	1053	1053
A _{s,use} > A _{s,min}	Memenuhi	Memenuhi
A _{s,use} < A _{s,max}	Memenuhi	Memenuhi
Tulangan Digunakan	3D10	3D10

Tabel 2.11 Perhitungan Tulangan Geser Balok Anak

Keterangan	Tumpuan	Lapangan
V_u (kN)	17,3	17,3
ϕ	0,75	0,75
λ	1	1
ϕV_c (kN)	34,219	34,219
Cek Kebutuhan Tulangan Geser	Hanya membutuhkan tulangan minimum	Hanya membutuhkan tulangan minimum
S_{maks1} (mm)	122,5	122,5
S_{maks2} (mm)	600	600
Tulangan Terpakai	2D - 120	2D - 120

Rekapitulasi Dimensi Balok Anak Terpakai

Keterangan	Balok Tipe 1	Balok Tipe 2
Dimensi (mm)	350x250	300x200
Tul.Utama Tumpuan	4D13	6D10
Tul.Utama Lapangan	4D13	6D10
Tul.Sengkang Tumpuan	D10-140	D10-120
Tul.Sengkang Lapangan	D10-140	D10-120

2.8.2. Balok Induk

Pada SNI 2847:2019 diatur penggunaan SRPMK pada KDS D, E, dan F. Untuk perhitungan syarat balok induk dapat digunakan rumus sebagai berikut:

1. Syarat Dimensi Balok Induk

- a. Gaya dalam ultimate (P_u) tidak lebih dari 0,1 luas kotor dimensi balok dikali dengan mutu beton ($P_u \leq 0,1A_g f'_c$).
- b. Panjang bentang bersih (l_n), harus lebih besar dari 4 kali tinggi efektif (4d)
- c. Lebar penampang (b_w), tidak kurang dari 0,3 kali tinggi penampang dan tidak boleh kurang dari 250 mm ($b_w \geq 0,3h$ atau 250 mm).
- d. Lebar penampang (b_w), tidak boleh melebihi lebar kolom pendukung ditambah nilai terkecil dari lebar kolom atau $\frac{3}{4}$ kali dimensi kolom arah sejajar komponen lentur.

Sehingga untuk perhitungan syarat dimensi balok dihitung dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 2.12 Rekap Syarat Dimensi Balok

Tipe Balok	b	h	c1	c2	cc	Dtul.	D.sengkang	d	Ag	fc'
B1	300	400	350	350	40	13	10	343,5	120000	30
B2	250	450	350	350	40	16	10	392	112500	30
B3	250	500	300	300	40	16	10	442	125000	30
B4	350	700	400	450	40	19	10	640,5	245000	30

Tabel 2.13 Lanjutan Rekap Syarat Dimensi Balok

β_1	f_y	P_u	T_u	L	l_n
0,835714286	420	0	8,93	4100	3750
0,835714286	420	0	22,8	3000	2650
0,835714286	420	0	8,47	4100	3800
0,835714286	420	0	41,6	7500	7075

Tabel 2.14 Lanjutan Rekap Syarat Dimensi Balok

1. $P_u \leq 0,1A_g f'_c$	2. $l_n \geq 4d$	3. $b \geq 0,3h$	4. $b \leq c_2 + \min(c_2; 0,75c_1)$
		$\geq 250 \text{ mm}$	
OK	OK	OK	OK
OK	OK	OK	OK

OK	OK	OK	OK
OK	OK	OK	OK

Jumlah tulangan lentur tarik pada bagian atas atau pada bawah penampang, luas perlu (A_s) tidak boleh kurang dari perhitungan persamaan berikut

$$\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$$

dan

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d$$

Dari kedua rumus ini harus menghasilkan nilai

$$\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \text{ atau } \frac{1,4}{f_y} b_w d \leq A_s \leq 0,025b_w d \text{ sebagai syarat tulangan lentur.}$$

Untuk kuat lentur positif dari sebuah komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Hal ini diatur pada rumus berikut:

$$\phi M n^+_{ki} \geq \frac{1}{2} \phi M n^-_{ki} \text{ untuk tumpuan kiri}$$

$$\phi M n^+_{ka} \geq \frac{1}{2} \phi M n^-_{ka} \text{ untuk tumpuan kanan}$$

Kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kuat lentur terbesar yang telah dihitung pada kedua muka kolom tersebut.

Sambungan lewatan pada tulangan lentur diizinkan jika ada tulangan sengkang tertutup yang mengikat pada sambungan tersebut. Spasi sengkang yang mengikat tidak lebih dari $\frac{d}{4}$ atau 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada daerah hubungan kolom, daerah

muka kolom, tempat yang memungkinkan akan terjadi luluh lentur karena perpindahan *inelastic* struktur rangka.

Syarat tulangan transversal yaitu:

- a. Sengkang transversal harus dipasang pada daerah dua kali tinggi balok dari muka tumpuan, dua kali tinggi balok pada kedua sisi diukur dari lokasi terjadinya luluh lentur.
- b. Jarak sengkang transversal dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.
- c. Pada daerah yang tidak perlu sengkang transversal, kedua ujung sengkang harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$

Pada kuat geser balok memiliki syarat bahwa daerah yang memerlukan tulangan tertutup harus dirancang untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$, jika gaya geser akibat gempa lebih kuat dari geser maksimum dan gaya aksial terfaktor (P_u) lebih kecil dari $A_g f'_c / 20$. Tulangan transversal pada balok SRPMK didesain untuk memikul gaya geser rencana (V_c) akibat kuat lentur maksimum (M_{pr}) dengan tanda berlawanan yang bekerja pada muka-muka tumpuan. Komponen struktur secara bersamaan menahan beban gravitasi yang berfokus di sepanjang bertang dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$M_{pr} = A_s (1,25 f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_s (1,25 f_y)}{0,85 f'_c b}$$

Untuk menghitung nilai besar gaya geser rencana dapat dihitung melalui rumus berikut:

$$V_E = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + \frac{W_u l_n}{2}$$

Gaya geser rencana dapat dihitung melalui rumus berikut:

$$V_{e1} = V_{G1} - V_{E1}$$

$$V_{e2} = V_{G2} + V_{E2}$$

Sehingga untuk perancangan balok berdasarkan SRPMK sebagai berikut:

Balok 1 dengan dimensi 250 x 400 menggunakan mutu beton 30 MPa dengan diameter tulangan sebesar 19 mm dapat dihitung sebagai berikut:

a. Desain tulangan longitudinal tumpuan (-)

Menghitung momen nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{67,91}{0,9}$$

$$M_n = 75,46 \text{ kNm}$$

Mencari tinggi efektif balok

$$d = h - \text{selimut beton} - D_{sengkan} - \frac{D_{tulangan}}{2}$$

$$d = 400 - 40 - 10 - \frac{19}{2}$$

$$d = 340,5 \text{ mm}$$

Menghitung nilai a dan c

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 |M_n|}{\phi 0,85 f'_c b}}$$

$$a = 343,5 - \sqrt{343,5^2 - \frac{2 |75,46|}{0,9 \times 0,85 \times 30 \times 300}}$$

$$a = 30,029 \text{ mm}$$

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

$$c = \frac{30,029}{0,84}$$

$$c = 35,932 \text{ mm}$$

Mengecek regangan tulangan

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

$$\epsilon_s = \frac{0,003(340,5-35,932)}{35,932}$$

$$\epsilon_s = 0,0257, \text{ balok terkendali tarik}$$

Menghitung kebutuhan luas tulangan

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

$$A_{s.req} = \frac{0,85 \times 30 \times 36,746 \times 300}{420}$$

$$A_{s.req} = 546,9568 \text{ mm}^2$$

Menghitung tulangan yang akan dipasang

$$A_{s.use} = n \frac{\pi (D_{tulangan})^2}{4} \geq A_{s.req}$$

$$n \frac{\pi (13)^2}{4} \geq 546,9568$$

$$n \geq 4,1208$$

$$n \approx 5$$

$$A_{s.use} = n \frac{\pi (D_{tulangan})^2}{4}$$

$$A_{s.use} = 5 \frac{\pi (13)^2}{4}$$

$$A_{s.use} = 663,6 \text{ mm}^2$$

Kontrol kebutuhan luas tulangan

$$A_{s.min1} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b d$$

$$A_{s.min1} = \frac{0,25 \sqrt{30}}{420} \times 300 \times 343,5$$

$$A_{s.min1} = 335,969 \text{ mm}^2$$

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

$$A_{s.min2} = \frac{1,4}{420} \times 300 \times 343,5$$

$$A_{s.min2} = 343,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.maks} = \frac{0,36 \beta_1 f'_c b d}{f_y}$$

$$A_{s.maks} = \frac{0,36 \times 0,84 \times 30 \times 300 \times 343,5}{420}$$

$$A_{s.maks} = 2.214,319 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.min} < A_{s.use} < A_{s.maks} \text{ (OK)}$$

Menghitung jarak bersih antar tulangan

$$S_1 = \frac{b - 2 c_c - 2 D_{sengkang} - n D_{tulangan}}{n - 1}$$

$$s_1 = \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 2 \times 13}{5 - 1}$$

$$s_1 = 33,75 \text{ mm}$$

Mengecek jarak bersih minimum dan maksimum antar tulangan

Mencari jarak bersih minimum antar tulangan

$$s_{min1} = 25 \text{ mm}$$

$$s_{min2} = D_{tulangan}$$

$$s_{min2} = 13 \text{ mm}$$

Mencari jarak bersih maksimum antar tulangan

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

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

$$f_s = 280 \text{ MPa}$$

$$s_{maks1} \leq 380 \frac{280}{f_s} - 2,5 c_c$$

$$s_{maks1} \leq 380 \frac{280}{280} - 2,5 \times 40$$

$$s_{maks1} \leq 280 \text{ mm}$$

$$s_{maks2} \leq 300 \frac{280}{f_s}$$

$$s_{maks2} \leq 300 \frac{280}{f_s}$$

$$s_{maks2} \leq 300 \text{ mm}$$

$$s_{min} < s_1 < s_{maks} \text{ (OK)}$$

Perhitungan syarat tulangan lentur dianalisis sebagai berikut:

$$A_{s,use} = 1061,858 \text{ mm}^2$$

Syarat 1

$$\rho_b = 0,75 \left(0,85 \frac{f_c'}{f_y} \beta_1 \frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,75 \left(0,85 \frac{30}{420} \times 0,8357 \frac{600}{600 + 420} \right)$$

$$= 0,029$$

$$\rho_{use} = \frac{A_{s,use}}{b.d} = \frac{1061,8583}{300 \times 343,5} = 0,0103$$

$$\rho_{max1} = 2,5\%$$

$$\rho_{max2} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,029 = 0,0224$$

$\rho_{use} < \rho_{max}$... Memenuhi syarat tulangan lentur negatif

Syarat 2

$$Mn^{-}_{tumpuan} = 81,601 \text{ kNm}$$

$$Mn^{+}_{tumpuan} = 50,058 \text{ kNm}$$

$$Mn^{-}_{lapangan} = 33,737 \text{ kNm}$$

$$Mn^{+}_{lapangan} = 33,737 \text{ kNm}$$

Cek syarat $Mn^{+}_{tumpuan} \geq 50\% Mn^{-}_{tumpuan}$... Memenuhi

Cek syarat Mn^{+} dan $Mn^{-}_{lapangan} \geq 25\% Mn^{-}_{tumpuan}$... Memenuhi

Rekapitulasi Analisis Mn Balok tipe 1

Keterangan	Tumpuan	Lapangan	
	Mu+	Mu-	Mu+
d (mm)	343,5	343,5	343,5
Mu (kNm)	25,83	30,97	25,52
Mn (kNm)	28,70	34,41	28,36
a (mm)	11,101	13,354	10,967
c	13,283	15,979	13,123
ϵ_s	0,0746 (terkendali tarik)	0,0615 (terkendali tarik)	0,0755 (terkendali tarik)
$A_{s.req}$ (mm ²)	202,1968	243,234	199,756
n	3	2	2
$A_{s.use}$ (mm ²)	398,20	265,46	265,46
$A_{s.min}$ (mm ²)	343,5	343,5	343,5
$A_{s.max}$ (mm ²)	2214,523	2214,523	2214,523
s_1 (mm)	40,25	43,5	43,5
s_{min} (mm)	25	25	25
f_s (MPa)	280	280	280
s_{maks} (mm)	280	280	280
a (mm)	21,86	14,57	14,57
Mn (kNm)	55,620	37,486	37,486
c	26,157	17,434	17,434

ε_s	0,0364 (terkendali tarik)	0,0561 (terkendali tarik)	0,0561 (terkendali tarik)
M_n koreksi (kNm)	50,058	33,737	33,737
Syarat 1	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Syarat 2	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

b. Desain tulangan geser

Untuk mendapatkan gaya geser desain dianalisis melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\alpha_{pr} (-) = \frac{1,25 f_y A_s}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \times 420 \times 633,6}{0,85 \times 30 \times 300} = 45,545 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_{pr} (+) = \frac{1,25 f_y A_s}{0,85 f_c' b} = \frac{1,25 \times 420 \times 343,5}{0,85 \times 30 \times 300} = 27,327 \text{ mm}^2$$

$$M_{pr} (-) = 1,25 f_y A_s \left(d - \frac{\alpha_{pr}}{2} \right)$$

$$M_{pr} (-) = 1,25 \times 420 \times 633,6 \left(343,5 - \frac{45,545}{2} \right)$$

$$M_{pr} (-) = 111,748 \text{ kNm}$$

$$M_{pr} (+) = 1,25 f_y A_s \left(d - \frac{\alpha_{pr}}{2} \right)$$

$$M_{pr} (+) = 1,25 \times 420 \times 343,5 \left(343,5 - \frac{27,327}{2} \right)$$

$$M_{pr} (+) = 68,954 \text{ kNm}$$

$$V_E = \frac{M_{pr1} (-) + M_{pr2} (+)}{l_n} = \frac{111,748 + 111,748}{3750} = 48,187 \text{ kN}$$

$$V_G = 56,9 \text{ kN}$$

$$V_U = 82,3 \text{ kN}$$

$$V_{e1.gempa\ kiri} = V_G - V_E = 56,9 - 48,187 = 8,713 \text{ kN}$$

$$V_{e2.gempa\ kanan} = V_G - V_E = 56,9 + 48,187 = 105,087 \text{ kN}$$

Tabel 2.15 Desain Tulangan Geser

	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
$\alpha_{pr} (-)$ (mm)	45,545	45,545
$\alpha_{pr} (+)$ (mm)	45,545	45,545
$M_{pr} (-)$ (kNm)	111,748	111,748
$M_{pr} (+)$ (kNm)	68,954	68,954
V_E (kN)	48,187	48,187
V_G (kN)	56,9	56,9
V_u (kN)	82,3	82,3
$V_{e.1}$ gempa kiri (kN)	8,713	8,713
V_{e2} . Gempa kanan (kN)	105,087	105,087

Menghitung kontribusi geser dari beton

$$V_e > 0,5 V_{u.lama}$$

$$105,087 > 0,5 \times 72$$

$$105,087 > 36 \text{ (OK)}$$

$$P_u < \frac{A_g f'_c}{20}$$

$$0 < \frac{300 \times 400 \times 30}{20}$$

$$0 < 180.000 \text{ (OK)}$$

Maka digunakan $V_c = 0$ kN

Menghitung kebutuhan tulangan geser di daerah plastis dengan mengasumsikan tulangan 2D10

$$A_v = n \cdot 0,25 \pi D^2$$

$$A_v = 2 \times 0,25 \pi 10^2$$

$$A_v = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{\phi A_v f_{yt} d}{V_e}$$

$$s = \frac{0,75 \times 157,08 \times 280 \times 343,5}{105,087}$$

$$s = 137,678 \text{ mm}$$

Spasi Senggang pengekang di daerah sendi plastis tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

$$s_{min1} = d/4$$

$$s_{min1} = 343,5/4$$

$$s_{min1} = 85,875 \text{ mm}$$

$$s_{min2} = 6 d_b$$

$$s_{min2} = 6 \times 19$$

$$s_{min2} = 114 \text{ mm}$$

$$s_{min3} = 150 \text{ mm}$$

$s > s_{min}$, maka digunakan spasi minimum yaitu 2D10-80

Menghitung V_e lapangan

$$V_{e.lap..gki} = \frac{l_n - 2h}{l_n} (V_{e.gki.max} - V_{e.gki.min}) + V_{e.gki.min}$$

$$V_{e.lap..gki} = \frac{3.750 - 2 \times 400}{3.750} (8,713 - 8,713) + 8,713$$

$$V_{e.lap..gki} = 8,713 \text{ kN}$$

$$V_{e.lap..gka} = \frac{l_n - 2h}{l_n} (V_{e.gka.max} - V_{e.gka.min}) + V_{e.gka.min}$$

$$V_{e.lap..gka} = \frac{3.750 - 2 \times 400}{3.750} (105,087 - 105,087) + 105,087$$

$$V_{e.lap..gka} = 105,087 \text{ kN}$$

Menghitung kebutuhan tulangan geser beton dan cek kebutuhan tulangan geser

$$V_{e.lap} = 105,087 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'c}b_wd$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 300 \times 343,5$$

$$V_c = 95,953 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times V_c = 0,75 \times 95,953 = 71,965 \text{ kN}$$

Karena $\phi V_c < V_{e.lap}$ maka dibutuhkan tulangan geser.

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{105,087}{0,75} - 95,953$$

$$V_s = 44,164 \text{ kN}$$

Cek dimensi penampang

$$V_s \leq 0,66\lambda\sqrt{f'c'}b_w d$$

$$44,164 \text{ kN} \leq 0,66 \times 1 \times \sqrt{30} \times 300 \times 343,5$$

$$44,164 \text{ N} \leq 307.724 \text{ N} \dots \text{Oke}$$

Asumsi digunakan 2D10

$$A_v = n \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \pi \times 10^2$$

$$A_v = 157,080 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{\phi A_v f_y t d}{V_e}$$

$$s = \frac{0,75 \times 157,080 \times 280 \times 343,5}{44164}$$

$$s = 256,568 \text{ mm}$$

Spasi sengkang pengekang di luar sendi plastis tidak boleh melebihi:

$$s_{maks} = d/2 = 340,5/2 = 171,75$$

$$s_{use} = 150$$

Sehingga digunakan 2D10 - 150

c. Desain tulangan torsi

Dari analisis midas didapatkan V_u dan T_u sebesar 82,3 kN dan 8,93 kNm

Pemeriksaan kemungkinan pengabaian puntir

$$A_{cp} = b h$$

$$A_{cp} = 300 \times 400$$

$$A_{cp} = 120.000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(b + h)$$

$$P_{cp} = 2(300 + 400)$$

$$P_{cp} = 1.400$$

$$\phi T_{th} = 0,75(0,083\lambda)\sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$\phi T_{th} = 0,75(0,083 \times 1)\sqrt{30} \frac{120.000^2}{1.400}$$

$$\phi T_{th} = 3,507 \text{ kNm}$$

Dikarenakan $\phi T_{th} < T_u$, maka puntir tidak dapat diabaikan

Evaluasi parameter-parameter penampang balok

$$x_1 = b - 2(c_c + D_{senkang})$$

$$x_1 = 300 - 2(40 + 10)$$

$$x_1 = 200 \text{ mm}$$

$$y_1 = h - 2(c_c + D_{senkang})$$

$$y_1 = 400 - 2(40 + 10)$$

$$y_1 = 300 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = x_1 y_1$$

$$A_{oh} = 200 \times 300$$

$$A_{oh} = 60.000 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 A_{oh}$$

$$A_o = 0,85 \times 60.000$$

$$A_o = 51.000 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2(x_1 + y_1)$$

$$P_h = 2(200 + 300)$$

$$P_h = 1000 \text{ mm}$$

Pemeriksaan batasan dimensi penampang

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 300 \times 343,5$$

$$V_c = 95.953 \text{ N}$$

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

$$\sqrt{\left(\frac{82.300}{300 \times 343,5}\right)^2 + \left(\frac{8.930.000 \times 1000}{1,7 \times 60.000^2}\right)^2} \leq 0,65 \left(\frac{95.953}{300 \times 343,5} + 0,66\sqrt{30}\right)$$

$$0,00278 \leq 3,4096 \text{ (Dimensi penampang memenuhi persyaratan)}$$

Perhitungan kebutuhan tulangan torsi transversal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{8,93 \times 10^6}{0,75}$$

$$T_n = 11.906.667 \text{ Nmm}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 A_o f_{yt} \cot \theta}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{11.906.667}{2 \times 51.000 \times 280 \times \cot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,416 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ untuk 1 kaki Sengkang}$$

Penentuan tulangan torsi longitudinal tambahan

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \cot^2 \theta$$

$$A_l = 0,416 \times 1000 \times \frac{280}{420} \times \cot^2 45$$

$$A_l = 277,933 \text{ mm}^2$$

$$A_{l,min} = \frac{0,42\sqrt{f'_c} A_{cp}}{f_y} - \frac{A_t}{s} P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$A_{l,min} = \frac{0,42\sqrt{30} \times 120.000}{420} - 0,416 \times 1000 \times \frac{280}{420}$$

$$A_{l,min} = 379,334 \text{ mm}^2$$

$$A_{l,use} = 379,334$$

Dikarenakan $A_l < A_{l,min}$, maka kebutuhan luas tulangan longitudinal torsi tambahan adalah $379,334 \text{ mm}^2$. Tulangan torsi longitudinal tambahan ditempatkan sebagai tulangan samping.

$$A_s = 0,25 \pi D^2$$

$$A_s = 0,25 \times \pi \times 13^2$$

$$A_s = 132,732 \text{ mm}^2$$

Tulangan diletakkan di kedua sisi sehingga:

$$A_{s,use} = 4 \times A_s$$

$$A_{s,use} = 4 \times 132,732$$

$$A_{s,use} = 530,929 \text{ mm}^2$$

Dikarenakan $A_{s,use} > A_{l,use}$, maka digunakan tulangan torsi longitudinal tambahan 4D13

Untuk perhitungan balok 2, 3, dan 4 berada pada tabel berikut:

Tabel 2.16 Rekapitulasi Perhitungan Balok SRPMK

Balok	2	3	4
Dimensi	250 x 450	250 x 500	350 x 700
f'c	30	30	30
fy Tulangan utama (MPa)	420	420	420
fy sengkang (MPa)	280	280	280
Vu (kN)	71,66	86,06	179,7
VG (kN)	64,6	45,75	149,03
Mu Tumpuan negatif (kNm)	81,27	95,17	270,14
Mu Tumpuan positif (kNm)	39,17	81,21	119,94
Mu Lapangan negatif (kNm)	32,7	79,82	68,27
Mu Lapangan positif (kNm)	31,56	68,27	125,93
Selimut Beton (mm)	40	40	40
Diameter Tulangan (mm)	19	19	19

Diameter Sengkang (mm)	10	10	10
Φ longitudinal	0,9	0,9	0,9
Φ geser	0,75	0,75	0,75
d (mm)	392	440,5	640,5
A_g (mm ²)	112500	125000	245000
β	0,8357	0,8357	0,8357
Tu	22,76	8,47	41,6
L (mm)	3000	4100	7500
l_n (mm)	2650	3800	7075
1. $P_u \leq 0,1A_g f'_c$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
2. $l_n \geq 4 d$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
3. $b \geq 0,3 h$ $\geq 250 \text{ mm}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
4. $b \leq c_2 + \min(c_2; 0,75c_1)$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.17 Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok 2

Keterangan	Tumpuan		Lapangan	
	Mu-	Mu+	Mu-	Mu+
d (mm)	392	392	392	392
Mu (kNm)	81,27	39,17	32,7	31,56
Mn (kNm)	90,30	43,52	36,33	35,07
a (mm)	37,974	17,820	14,818	14,294
c	45,439	21,323	17,731	17,104
ϵ_s	0,0229 (terkendali tarik)	0,0522 (terkendali tarik)	0,0633 (terkendali tarik)	0,0658 (terkendali tarik)
$A_{s,req}$ (mm ²)	576,391	270,482	224,916	216,963
n	3D16	2D16	2D16	2D16
$A_{s,use}$ (mm ²)	603,19	402,12	402,12	402,12
$A_{s,min}$ (mm ²)	326,667	326,667	326,667	326,667
$A_{s,max}$ (mm ²)	2106	2106	2106	2106
s_1 (mm)	51	59	59	59
s_{min} (mm)	25	25	25	25
f_s (MPa)	280	280	280	280
s_{maks} (mm)	280	280	280	280
a (mm)	39,74	26,49	26,49	26,49
Mn (kNm)	94,275	63,968	63,968	63,968
c	47,552	31,697	31,697	31,697
ϵ_s	0,0217 (terkendali tarik)	0,0341 (terkendali tarik)	0,0341 (terkendali tarik)	0,0341 (terkendali tarik)
M_n koreksi (kNm)	88,848	57,571	57,571	57,571
Syarat 1	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Syarat 2	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.18 Perhitungan Gaya Geser Desain (Ve) Balok 2

Keterangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
$a_{pr}(-)$ (mm)	49,674	49,674
$a_{pr}(+)$ (mm)	33,116	33,116
$M_{pr}(-)$ (kNm)	116,271	116,271
$M_{pr}(+)$ (kNm)	79,261	79,261
V_E (kN)	73,786	73,786
V_G (kN)	64,6	64,6
V_u (kN)	71,9	66,21
V_{e1} .gempa kiri (kN)	-9,186	138,386
V_{e2} . gempa kanan (kN)	138,386	-9,186

Tabel 2.19 Perhitungan Tulangan Daerah Tumpuan Balok 2

Keterangan	Hasil
Syarat $V_e > 0,5 V_{u.lama}$ dan $P_u < A_g f_c'/20$	Memenuhi
V_c (kN)	0
<i>Trial</i>	2D10
A_v (mm ²)	157,0796
S (mm)	93,44
S_{use} (mm)	70
S_{maks} (mm)	96
Tulangan terpakai	2D10 - 70

Tabel 2.20 Perhitungan Sengkang Balok 2

Keterangan	Hasil
Ve Lapangan gki (kN)	91,387
Ve Lapangan gka (kN)	91,387
Ve Lapangan (kN)	91,387
Vc (kN)	91,251
ϕV_c (kN)	68,438
Vs (kN)	30,598
Batas Vs	Memenuhi
Trial Tulangan	2D10
Av (mm ²)	157,0796
s (mm)	422,597
s maks (mm)	196
s use (mm)	150
Tulangan terpakai	2D10 - 150

Tabel 2.21 Penulangan Torsi Balok 2

Keterangan	Hasil
Vu (kN)	71,9
Tu (kNm)	22,76
Acp (mm ²)	112500
Pcp (mm)	1400
ϕT_{th} (Nmm)	3,082
Cek Puntir	Puntir tidak diabaikan
x1 (mm)	150
y1 (mm)	350
Aoh (mm ²)	52500
Ao (mm ²)	44625
Ph (mm)	1000
Vc (kN)	90,901
Syarat Dimensi Penampang	Memenuhi
Tn (Nmm)	30346667
Ø	45
At/s (mm ² /mm)	0,809
Al (mm ²)	539,712
Al minimum (mm ²)	76,476
Al use (mm ²)	539,712
D tulangan (mm)	16
As (mm ²)	201,062
As use (mm ²)	804,248
Tulangan Digunakan	4D16
Syarat tulangan	Memenuhi

Tabel 2.22 Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok 3

Keterangan	Tumpuan		Lapangan	
	Mu-	Mu+	Mu-	Mu+
d (mm)	442	442	442	442
Mu (kNm)	95,17	81,21	79,82	68,27
Mn (kNm)	105,74	90,23	88,69	75,86
a (mm)	39,271	33,274	32,684	27,796
c	46,991	39,815	39,109	33,260
ϵ_s	0,0252 (terkendali tarik)	0,0303 (terkendali tarik)	0,0309 (terkendali tarik)	0,0369 (terkendali tarik)
$A_{s,req}$ (mm ²)	596,078	505,052	496,096	421,904
n	3D16	3D16	3D16	3D16
$A_{s,use}$ (mm ²)	603,19	603,19	603,19	603,19
$A_{s,min}$ (mm ²)	368,333	368,333	368,333	368,333
$A_{s,max}$ (mm ²)	2374,622	2374,622	2374,622	2374,622
s_1 (mm)	51	51	51	51
s_{min} (mm)	25	25	25	25
f_s (MPa)	280	280	280	280
s_{maks} (mm)	280	280	280	280
a (mm)	39,74	39,74	39,74	39,74
Mn (kNm)	106,942	106,942	106,942	106,942
c	67,056	67,056	67,056	67,056
ϵ_s	0,0249 (terkendali tarik)	0,0249 (terkendali tarik)	0,0249 (terkendali tarik)	0,0249 (terkendali tarik)
M_n koreksi (kNm)	96,248	96,248	96,248	96,248
Syarat 1	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Syarat 2	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.23 Perhitungan Gaya Geser Desain (Ve) Balok 3

Keterangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
$a_{pr}(-)$	49,674	49,674
$a_{pr}(+)$	49,674	49,674
$M_{pr}(-)$	132,105	132,105
$M_{pr}(+)$	132,105	132,105
V_E	69,529	69,529
V_G	42,61	42,61
V_u	71,9	66,21
V_{e1} . gempa kiri	-26,919	112,139
V_{e2} . gempa kanan	112,139	-26,919

Tabel 2.24 Perhitungan Tulangan Daerah Tumpuan Balok 3

Keterangan	Hasil
Syarat $V_e > 0,5 V_u$. lama dan $P_u < A_g f_c' / 20$	Memenuhi
V_c	0
T_{rial}	2D10
A_v	157,080
S	130,018
S_{use}	100
S_{maks}	96
Tulangan terpakai	2D - 90

Tabel 2.25 Perhitungan Sengkang Lapangan Balok 3

Keterangan	Hasil
Ve Lapangan gki	82,629
Ve Lapangan gka	82,629
Ve Lapangan	82,629
Vc	102,890
ϕV_c	77,167
Vs	7,282
Batas Vs	Memenuhi
Trial Tulangan	2D10
Av	157,080
s	2002,251
s maks	221
s use	200
Tulangan terpakai	2D10 - 200

Tabel 2.26 Penulangan Torsi Balok 3

Keterangan	Hasil
Vu (kN)	71,9
Tu (kNm)	8,47
Acp (mm ²)	125.000
Pcp (mm)	1.500
ϕT_{th} (Nmm)	3,552
Cek Puntir	Puntir tidak diabaikan
x1 (mm)	150
y1 (mm)	400
Aoh (mm ²)	60.000
Ao (mm ²)	51.000
Ph (mm)	1.100
Vc (kN)	102,890
Syarat Dimensi Penampang	Memenuhi
Tn (Nmm)	11.293.333
Ø	45
At/s (mm ² /mm)	0,395
Al (mm ²)	289,978
Al minimum (mm ²)	394,675
Al use (mm ²)	394,675
D tulangan (mm)	16
As (mm ²)	201,062
As use (mm ²)	402,124
Tulangan Digunakan	2D16
Syarat tulangan	Memenuhi

Tabel 2.27 Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok 4

Keterangan	Tumpuan		Lapangan	
	Mu-	Mu+	Mu-	Mu+
d (mm)	640,5	640,5	640,5	640,5
Mu (kNm)	270,14	119,94	159,12	125,93
Mn (kNm)	300,16	133,27	176,80	139,92
a (mm)	54,857	23,754	31,713	24,963
c	65,641	28,424	37,947	29,870
ϵ_s	0,026 (terkendali tarik)	0,0646 (terkendali tarik)	0,0476 (terkendali tarik)	0,0613 (terkendali tarik)
$A_{s,req}$ (mm ²)	1165,711	504,773	673,901	530,464
n	5	2	3	2
$A_{s,use}$ (mm ²)	1417,64	567,06	850,59	567,06
$A_{s,min}$ (mm ²)	747,25	747,25	747,25	747,25
$A_{s,max}$ (mm ²)	4817,475	4817,475	4817,475	4817,475
s_1 (mm)	38,75	53	48,25	53
s_{min} (mm)	25	25	25	25
f_s (MPa)	280	280	280	280
s_{maks} (mm)	280	280	280	280
a (mm)	66,71	26,69	40,03	26,69
Mn (kNm)	361,499	149,367	221,667	149,367
c	79,824	31,937	47,899	31,937
ϵ_s	0,021 (terkendali tarik)	0,0571 (terkendali tarik)	0,0371 (terkendali tarik)	0,0571 (terkendali tarik)
M_n koreksi (kNm)	325,350	134,430	199,500	134,430
Syarat 1	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Syarat 2	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.28 Perhitungan Gaya Geser Desain (Ve) Balok 4

Keterangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
$a_{pr}(-)$	83,391	83,391
$a_{pr}(+)$	33,356	33,356
$M_{pr}(-)$	445,667	445,667
$M_{pr}(+)$	185,716	185,716
V_E	89,241	89,241
V_G	149,03	149,03
V_u	71,9	66,21
V_{e1} .gempa kiri	59,789	238,271
V_{e2} . gempa kanan	238,271	59,789

Tabel 2.29 Perhitungan Tulangan Daerah Tumpuan Balok 4

Keterangan	Hasil
Syarat $V_e > 0,5 V_u$.lama dan $P_u < A_g f_c'/20$	Memenuhi
V_c	0
$Trial$	2D10
A_v	157,080
S	88,672
S_{use}	80
S_{maks}	114
Tulangan terpakai	2D10 - 80

Tabel 2.30 Perhitungan Sengkang Balok 4

Keterangan	Hasil
Ve Lapangan gki	191,122
Ve Lapangan gka	191,122
Ve Lapangan	191,122
Vc	208,736
$\emptyset V_c$	156,552
Vs	46,090
Batas Vs	Memenuhi
Trial Tulangan	2D10
Av	157,080
s	458,368
s maks	320,25
s use	300
Tulangan terpakai	2D10 - 300

Tabel 2.31 Penulangan Torsi Balok 4

Keterangan	Hasil
Vu (kN)	71,9
Tu (kNm)	41,6
Acp (mm ²)	245.000
Pcp (mm)	2.100
ϕT_{th} (Nmm)	9,746
Cek Puntir	Puntir tidak diabaikan
x1 (mm)	250
y1 (mm)	600
Aoh (mm ²)	150.000
Ao (mm ²)	127.500
Ph (mm)	1.700
Vc (kN)	208,736
Syarat Dimensi	
Penampang	Memenuhi
Tn (Nmm)	55.466.667
Ø	45
At/s (mm ² /mm)	0,777
Al (mm ²)	880,423
Al minimum (mm ²)	461,497
Al use (mm ²)	880,423
D tulangan (mm)	19
As (mm ²)	283,529
As use (mm ²)	1701,172
Tulangan Digunakan	6D19
Syarat Tulangan	Memenuhi

Tabel 2.32 Rekapitulasi Dimensi Balok Terpakai

Keterangan	Balok Tipe 1	Balok Tipe 2	Balok Tipe 3	Balok Tipe 4	Balok Tipe 5
Dimensi (mm)	400x300	450x250	500x250	700x350	300x300
Tul.Utama Tumpuan	12D13	10D19	14D19	8D19	6D19
Tul.Utama Lapangan	8D13	10D19	14D19	8D19	6D19
Tul.Sengkang Tumpuan	D10-70	D10-70	D10-90	D10-80	D10-80
Tul.Sengkang Lapangan	D10-150	D10-150	D10-200	D10-200	D10-300

2.9 Perancangan Kolom

Untuk perancangan kolom harus memperhatikan syarat-syarat yang digunakan. Syarat dimensi penampang yang digunakan harus memperhatikan dimensi penampang terkecil diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri dan tidak kurang dari 300 mm. Rasio dimensi penampang yang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

Para perancangan kolom memperhatikan kekuatan lentur kolom yang memenuhi $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$. $\sum M_{nc}$ merupakan jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*. $\sum M_{nb}$ merupakan jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi pada muka-muka *joint*. Perhitungan harus mendapatkan hasil *strong column-weak beam*, dengan cara persamaan sebagai berikut:

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

Untuk menghitung tulangan harus memperhatikan beberapa syarat. Luas tulangan *longitudinal* Ast tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ dan tidak melebihi $0,006 A_g$. Pada sambungan lewatan hanya diperbolehkan dalam daerah tengah tinggi kolom yang ada, hal ini juga harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi dengan tulangan *transversal*.

Pada syarat tulangan *transversal* daerah sendi plastis kolom (daerah sepanjang l_0 dari muka hubungan balok-kolom, dikedua ujungnya) harus disediakan tulangan *transversal* yang mencakupi.

Tulangan *transversal* harus sesuai dengan syarat-syarat seperti berikut:

- a. Tulangan *transversal* harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpuk atau yang biasa disebut dengan *overlap*, saat posisi sengkang pengekan bundar atau persegi dengan atau tanpa ikat silang.
- b. Setiap tekukan ujung sengkang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.
- c. Pada pasal 25.7.2.2 merupakan batasan yang diizinkan untuk sengkang pengekan di mana ikat silang dengan ukuran batang tulangan yang sama atau yang lebih dari diameter sengkang. Ikat silang yang berurutan harus diberi selang-seling ujung sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.
- d. Penggunaan sengkang pengekan persegi ataupun ikat silang tulangan *transversal* harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal harus sesuai.
- e. Tulangan harus diatur sedemikian hingga spasi h_x antara tulangan-tulangan longitudinal disepanjang parimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengekan tidak boleh melebihi 350 mm.
- f. Nilai h_x tidak boleh melebihi 200 mm, dengan syarat $P_u > 0,3 A_g f'_c$ atau $f'_c > 70$ MPa pada kolom dengan sengkang pengekan di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang pengekan ataupun kait gempu.

Syarat tulangan *transversal* harus memiliki jarak pada daerah sepanjang l_0 tidak melebihi nilai terkecil dari:

1. $1/4$ dimensi terkecil komponen struktur
2. 6 kali diameter tulangan memanjang
3. $100 \text{ mm} \leq S_0 = 100 + \left(\frac{350-h}{3}\right) \leq 150 \text{ mm}$

Jarak tulangan *transversal* pada daerah luar l_0 diberikan sengkang dengan spasi s yang tidak melebihi $6d_b$ dan 150 mm

Syarat kuat geser kolom SRPMK harus memiliki gaya geser rencana (V_e) yang ditentukan dengan melakukan perhitungan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok-kolom pada setiap komponen struktur. Gaya pada hubungan balok-kolom harus ditentukan dengan menggunakan kuat momen maksimum yang dapat terjadi (*probable moment*) pada setiap ujung batang yang sesuai dengan rentang beban aksial terfaktor P_u yang bekerja pada batang tersebut. Gaya geser rencana (V_e) tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor yang didapat dari hasil analisis struktur. Kemudian tulangan *transversal* sepanjang l_0 harus didesain sedemikian rupa untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ hal ini dapat terjadi jika gaya geser akibat gempa 50% dari kekuatan geser perlu maksimum disepanjang l_0 dan gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$. Kekuatan geser rencana kolom SRPMK dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini.

$$V_e = \frac{M_{prc a} + M_{prc b}}{l_c}$$

Perhitungan kolom 1 dengan dimensi 650 x 550 menggunakan tulangan utama 16D19 dan tulangan sengkang D10 (diatur dalam *SPColumn*). Dari perhitungan Midas didapatkan *output* sebagai berikut:

$P_u \text{ max} = -109,83 \text{ kN}$

$P_u \text{ min} = -1107,9 \text{ kN}$

$M_2 \text{ max} = -240,01 \text{ kNm}$

$M_2 \text{ min} = -740,97 \text{ kNm}$

$M_3 \text{ max} = 542,07 \text{ kNm}$

$$M3 \text{ min} = 542,93 \text{ kNm}$$

$$V2 = 69,37 \text{ kN}$$

$$V3 = 58,35 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya tekan terkecil (Nu)} = -0,08 \text{ kN}$$

- Properti Material dan penampang

$$\text{Tinggi Kolom (L)} = 3500 \text{ mm}$$

$$\text{Sisi Pendek Kolom (b)} = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Sisi Panjang Kolom (h)} = 650 \text{ mm}$$

$$\text{Ø Tulangan Longitudinal (d}_b\text{)} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Ø Tulangan Sengkang (d}_s\text{)} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut bersih (c}_c\text{)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat tekan beton (f}_c'\text{)} = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat leleh Tul. Longitudinal (f}_y\text{)} = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat leleh Tul. Sengkang (f}_{yv}\text{)} = 280 \text{ MPa}$$

$$\text{Tinggi Balok (h}_b\text{)} = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Bersih (L}_n\text{)} = 2800 \text{ mm}$$

- Syarat Gaya dan Geometri

Cek Syarat:

$$\text{Syarat gaya aksial: } P_u > 0,1 A_g f_c' = 1107900 > 9750000 \text{ (N)} \dots \text{ Oke}$$

$$\text{Syarat sisi terpendek: } b \geq 300 \text{ mm} = 500 \geq 300 \text{ (mm)} \dots \text{ Oke}$$

$$\text{Syarat rasio dimensi Penampang: } b/h \geq 0,4 = 0,769 \geq 0,4 \dots \text{ Oke}$$

- Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = 16$$

$$\text{Luas tulangan longitudinal (A}_s\text{)} = 16 \times \pi \times 0,25 \times 19^2 = 4536,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Rasio tulangan } (\rho) = \frac{4536,5}{(500 \times 600)} = 1,40 \%$$

Cek ρ_{\min} dan $\rho_{\max} = 1\% \leq \rho \leq 6\% \dots$ Oke

- Pengecekan SCWB

$$M_{nc} = 508,649 \text{ kNm}$$

$$M_{nb \text{ ki}} = 304,232 \text{ kNm}$$

$$M_{nb \text{ ka}} = 162,112 \text{ kNm}$$

Cek SCWB:

$$(2 \times 508,649) \geq 1,2 (304,112 + 162,112)$$

$$1.017,298 \geq 559,6128$$

Karena $M_{nc} > 1,2 M_{nb}$ maka kolom telah memenuhi syarat (*Strong Column Weak Beam*)

Tulangan transversal didasarkan pada kuat geser kolom dan pengekanan inti beton seperti berikut:

- Panjang Zona Sendi Plastis

$$l_{o1} = h = 650 \text{ mm}$$

$$l_{o2} = \frac{L_n}{6} = \frac{2800}{6} = 466,7 \text{ mm}$$

$$l_{o3} = 450 \text{ mm}$$

$$l_o = 650 \text{ mm}$$

- Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan

$$\text{Jumlah Kaki sisi pendek} = 3$$

$$\text{Jumlah Kaki sisi panjang} = 3$$

$$\text{Spasi} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi kaki terbesar } (X_i \text{ max}) = 150$$

$$\text{Ash 1} = n \text{ kaki} \times \pi \times 0,25 \times d^2 = 398,197 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ash 2} = n \text{ kaki} \times \pi \times 0,25 \times d^2 = 398,197 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\text{Ash 1}}{s} = 7,964 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{Ash\ 2}{s} = 7,964\ mm^2/mm$$

- Confinement/Kekangan Zona sendi Plastis

$$\text{Lebar penampang inti beton (bc)} = b - 2Cc = 420\ mm$$

$$\text{Panjang penampang inti beton (hc)} = h - 2Cc = 570\ mm$$

$$Ag = b \times h = 325000\ mm^2$$

$$Ach = bc \times hc = 239400\ mm^2$$

- Sisi Pendek/Sumbu Lemah

$$Ash/s\ min_{(1)} = 0,3 \times \frac{b_c \times f_c'}{f_{yv}} \times \frac{Ag}{A_{ch}-1}$$

$$Ash/s\ min_{(1)} = 0,3 \times \frac{420 \times 30}{280} \times \frac{325000}{239400-1}$$

$$Ash/s\ min_{(1)} = 4,827\ mm^2/mm$$

$$Ash/s\ min_{(2)} = 0,09 \times \frac{b_c \times f_c'}{f_{yv}}$$

$$Ash/s\ min_{(2)} = 0,09 \times \frac{420 \times 30}{280}$$

$$Ash/s\ min_{(2)} = 4,050\ mm^2/mm$$

Cek syarat Ash 1/s \geq dari Ash/s min: $7,964 \geq 4,827 \dots$ Ok

- Sisi Panjang/Sumbu Kuat

$$Ash/s\ min_{(1)} = 0,3 \times \frac{h_c \times f_c'}{f_{yv}} \times \frac{Ag}{A_{ch}-1}$$

$$Ash/s\ min_{(1)} = 0,3 \times \frac{570 \times 30}{280} \times \frac{325000}{239400-1}$$

$$Ash/s\ min_{(1)} = 6,551\ mm^2/mm$$

$$Ash/s\ min_{(2)} = 0,09 \times \frac{b_c \times f_c'}{f_{yv}}$$

$$Ash/s\ min_{(2)} = 0,09 \times \frac{570 \times 30}{280}$$

$$Ash/s\ min_{(2)} = 5,496\ mm^2/mm$$

Cek syarat Ash 2/s \geq dari Ash/s min: $7,964 \geq 6,551 \dots$ Ok

- Cek Spasi

$$S_{max1} = b/4 = 125\ mm$$

$$S_{\max 2} = 6d_b = 114 \text{ mm}$$

$$h_x = 150 \text{ mm}$$

$$S_{\max 3} = 100 \leq 100 + (350 - h_x)/3 \leq 150 = 150 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 114 \text{ mm}$$

Spasi < Smax...ok

M_{pr} kolom didapatkan 709,239 kNm (didapatkan dari *SpColumn*)

$$V_{u1} = \frac{709,239 + 709,239}{2,8} = 506,599 \text{ kN} = 506599 \text{ N}$$

$$V_{u2(\text{sumbu lemah})} = 69,370 \text{ kN} = 69370 \text{ N}$$

$$V_{u2(\text{sumbu kuat})} = 58,350 \text{ kN} = 58350 \text{ N}$$

• Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u = \text{Nilai terbesar } (V_{u1}, V_{u2}) = 506599 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$d = 500 - 40 - 10 - 19/2 = 440,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,017 \times \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \times f_c'^{0,5} \times h \times d$$

$$V_c = 0,017 \times \left(1 + \frac{0,08 \times 1000}{14 \times 325000}\right) \times 30^{0,5} \times 650 \times 440,5$$

$$V_c = 264795 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{506599}{0,75} - 264795 = 410671 \text{ N}$$

$$A_s /_{s \text{ perlu}} = \frac{V_s}{f_{yv}} \times d = \frac{410671}{280} \times 440,5 = 3,3524 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$A_s /_{s \text{ min1}} = \frac{0,062 \times f_c'^{0,5} \times h}{f_{yv}} = \frac{0,062 \times 30^{0,5} \times 650}{280} = 0,7883 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$A_s /_{s \text{ min2}} = \frac{0,35 \times h}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 650}{280} = 0,8125 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$\text{Cek syarat } A_s/s : \frac{Ash\ 1}{s} \geq \left(\frac{Ash}{s} \text{ perlu}; \frac{Ash}{s} \text{ min} \right) : 7,964 \geq 3,3524 \dots$$

Oke

- Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u = \text{Nilai terbesar } (V_{u1}, V_{u2}) = 506599\ N$$

$$\phi = 0,75$$

$$d = 650 - 40 - 10 - 19/2 = 590,5\ \text{mm}$$

$$V_c = 0,017 \times \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \times f_c'^{0,5} \times b \times d$$

$$V_c = 0,017 \times \left(1 + \frac{0,08 \times 1000}{14 \times 325000} \right) \times 30^{0,5} \times 500 \times 590,5$$

$$V_c = 273524\ N$$

$$V_{s\ \text{perlu}} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{506599}{0,75} - 273524 = 401942\ N$$

$$A_s/s\ \text{perlu} = \frac{V_s}{f_{yv}} \times d = \frac{401942}{280} \times 590,5 = 2,4434\ \text{mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s\ \text{min1} = \frac{0,062 \times f_c'^{0,5} \times b}{f_{yv}} = \frac{0,062 \times 30^{0,5} \times 500}{280} = 0,6064\ \text{mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s\ \text{min2} = \frac{0,35 \times b}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 500}{280} = 0,625\ \text{mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Cek syarat } A_s/s : \frac{Ash\ 2}{s} \geq \left(\frac{Ash}{s} \text{ perlu}; \frac{Ash}{s} \text{ min} \right) : 7,964 \geq 2,4434 \dots$$

Oke

- Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/ Lapangan

$$\text{Jumlah kaki sumbu pendek } (n1) = 2$$

$$\text{Jumlah kaki sumbu panjang } (n2) = 2$$

$$\text{Spasi } (s) = 100$$

$$A_v\ \text{sumbu lemah} = n\ \text{kaki} \times \pi \times 0,25 \times ds^2 = 265,465\ \text{mm}^2$$

$$A_v\ \text{sumbu kuat} = n\ \text{kaki} \times \pi \times 0,25 \times ds^2 = 265,465\ \text{mm}^2$$

$$S_{\max 1} = 6d_b = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$S_{\max 2} = 150 \text{ mm}$$

Cek syarat spasi : $S \leq S_{\max} = 100 \leq 114 \dots$ Oke

- Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u = 69370 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$d = 500 - 40 - 10 - 19/2 = 440,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,017 \times \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \times f_c'^{0,5} \times h \times d$$

$$V_c = 0,017 \times \left(1 + \frac{0,08 \times 1000}{14 \times 325000}\right) \times 30^{0,5} \times 650 \times 440,5$$

$$V_c = 264795 \text{ N}$$

Karena $V_c > V_u$ maka hanya diperlukan tulangan minimum

- Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u = 58350 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$d = 650 - 40 - 10 - 19/2 = 590,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,017 \times \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \times f_c'^{0,5} \times b \times d$$

$$V_c = 0,017 \times \left(1 + \frac{0,08 \times 1000}{14 \times 325000}\right) \times 30^{0,5} \times 500 \times 590,5$$

$$V_c = 273524 \text{ N}$$

Karena $V_c > V_u$ maka hanya diperlukan tulangan minimum

Sehingga untuk Tulangan Longitudinal Kolom digunakan 16D19, 3D13-50 untuk tulangan sengkang pada tumpuan, dan 2D13-100 untuk tulangan sengkang pada lapangan.

Tabel 2.33 Data Gaya Dalam Kolom

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
Pu max (kN)	50,990	172,170	35,940	98,130
Pu min (kN)	831,450	853,160	452,550	287,380
M2 max (kNm)	487,200	564,290	261,890	33,950
M2 min (kNm)	504,490	685,220	275,730	119,610
M3 max (kNm)	360,130	567,1	161,560	55,310
M3 min (kNm)	588,200	691,8	347,560	80,780
V2 (kN)	32,420	-98,440	31,050	-19,470
V3 (kN)	-60,540	-61,400	-41,510	-21,330
Nu (kN)	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08

Tabel 2.34 Rekapitulasi Data Dimensi Kolom

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
L (mm)	3500	3500	3500	3500
b (mm)	350	500	350	300
h (mm)	500	550	400	300
d _b (mm)	19	19	19	19
d _s (mm)	13	13	13	16
c _c (mm)	40	40	40	40
f _c ' (MPa)	30	30	30	30
f _y (MPa)	400	400	400	400
f _{yv} (MPa)	280	280	280	280
h _b (mm)	450	700	450	400
L _n (mm)	3050	2800	3050	3100

Tabel 2.35 Rekapitulasi Syarat Gaya dan Geometri

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
Syarat Gaya Aksial	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Syarat Sisi Terpendek	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Syarat Rasio Dimensi Penampang	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.36 Rekapitulasi Cek Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
n	10	14	8	6
A_s (mm ²)	2835,3	3969,4	2268,2	1701,2
ρ (%)	1,62	1,44	1,62	1,89
Cek rasio	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.37 Rekapitulasi Cek SCWB

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
M_{nc} (kNm)	261,111	439,169	169,543	85,521
M_{nb}^- tumpuan (kNm)	96,248	304,232	96,248	81,6
M_{nb}^+ tumpuan (kNm)	96,248	162,112	96,248	57,571
$2.M_{nc}$ (kNm)	522,222	878,338	339,087	171,04
$1,2 M_{nb}$ (kNm)	230,995	559,613	230,995	167,01
Cek SCWB	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.38 Rekapitulasi Panjang Zona Sendi Plastis

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
l_{o1} (mm)	500	550	400	300
l_{o2} (mm)	508,3	466,7	508,3	516,7
l_{o3} (mm)	450	450	450	450
l_o (mm)	508,3	550	508,3	516,7

Tabel 2.39 Rekapitulasi Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
n kaki lemah	3	3	3	2
n kaki kuat	3	3	3	2
s (mm)	50	60	60	60
X_i max (mm)	150	150	150	150
$A_{sh 1}$ (mm)	398,197	398,197	398,197	402,124
$A_{sh 2}$ (mm)	398,197	398,197	398,197	402,124
$\frac{A_{sh 1}}{s}$ (mm^2/mm)	7,964	6,637	6,637	6,702
$\frac{A_{sh 2}}{s}$ (mm^2/mm)	7,964	6,637	6,637	6,702

Tabel 2.40 Rekapitulasi Kekangan Zona Sendi Plastis

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
b _c (mm)	270	420	270	220
h _c (mm)	420	470	320	220
A _g (mm ²)	175.000	275.000	140.000	90.000
A _{ch} (mm ²)	113.400	197.400	86.400	48.400

Tabel 2.41 Rekapitulasi Kekangan Pada Sumbu Lemah

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
Ash/s _{min(1)} (mm ² /mm)	4,714	5,307	5,384	6,078
Ash/s _{min(2)} (mm ² /mm)	2,604	4,050	2,604	2,121
$\frac{Ash\ 1}{S}$ > $\frac{Ash\ min}{S}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.42 Rekapitulasi Kekangan Pada Sumbu Kuat

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
Ash/s _{min(1)} (mm ² /mm)	7,333	5,939	6,381	6,078
Ash/s _{min(2)} (mm ² /mm)	4,050	4,532	3,086	2,121
$\frac{Ash\ 1}{S}$ > $\frac{Ash\ min}{S}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.43 Rekapitulasi Cek Spasi

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
S_{max1} (mm)	87,5	125	87,5	75
S_{max2} (mm)	114	114	114	114
h_x (mm)	150	150	150	150
S_{max3} (mm)	150	150	150	150
S_{max} (mm)	87,5	114	87,5	75
$S < S_{max}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.44 Rekapitulasi Kuat Geser Sendi Plastis

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
M_{pr} kolom (kNm)	421,185	534,018	225,532	99,963
V_{u1} (N)	276.187	381.441	147.890	64.492
V_{u2} (sumbu lemah) (N)	32.420	98.440	31.050	19.470
V_{u2} (sumbu kuat) (N)	60.450	61.400	41.510	21.330

Tabel 2.45 Rekapitulasi Tahana Geser Sumbu Lemah

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
V_u (N)	276.187	381.441	147.890	64.492
ϕ	0,75	0,75	0,75	0,75
d (mm)	287,5	437,5	287,5	234,5
V_c (N)	133.854	224.058	107.084	65.509
$V_{s\text{ perlu}}$ (N)	234.395	284.531	90.102	20.480
$A_s / s_{\text{ perlu}}$ (mm^2 / mm)	2,912	2,3227	1,1193	0,3119
$A_s / s_{\text{ min1}}$ (mm^2 / mm)	0,606	0,6670	0,4851	0,3638
$A_s / s_{\text{ min2}}$ (mm^2 / mm)	0,625	0,6875	0,5000	0,3750
$\frac{A_s}{s}$ $\geq (\frac{A_s}{s}_{\text{ perlu}}; \frac{A_s}{s}_{\text{ min}})$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.46 Rekapitulasi Tahana Geser Sumbu Kuat

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
V_u (N)	276.187	381.441	147.890	64.492
ϕ	0,75	0,75	0,75	0,75
d (mm)	287,5	437,5	287,5	234,75
V_c (N)	142.584	226.968	109.994	65.509
$V_{s\text{ perlu}}$ (N)	225.665	281.621	87.192	20.480
$A_s / s_{\text{ perlu}}$ (mm^2 / mm)	1,842	2,063	0,9227	0,3119
$A_s / s_{\text{ min1}}$ (mm^2 / mm)	0,425	0,6064	0,4245	0,3638
$A_s / s_{\text{ min2}}$ (mm^2 / mm)	0,438	0,625	0,4375	0,3750

$\frac{Ash}{S}$ $\geq (\frac{Ash}{S} \text{ perlu}; \frac{Ash}{S} \text{ min})$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
--	----------	----------	----------	----------

Tabel 2.47 Rekapitulasi Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
n kaki lemah	2	2	2	2
n kaki kuat	2	2	2	2
s (mm)	100	100	100	100
A_v sumbu lemah (mm ²)	265,465	265,465	265,465	265,465
A_v sumbu kuat (mm ²)	265,465	265,465	265,465	265,465
S_{max1} (mm)	114	114	114	114
S_{max2} (mm)	150	150	150	150
$S < S_{max}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.48 Rekapitulasi Kekangan Luar Zona Sendi Plastis Sumbu Lemah

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
V_u (N)	32.420	98.440	31.050	19.470
ϕ	0,75	0,75	0,75	0,75
d (mm)	287,5	437,5	287,5	234,5
V_c (N)	133.854	224.058	107.084	65.509
$V_c > V_s$	Hanya memerlukan tulangan minimum	Hanya memerlukan tulangan minimum	Hanya memerlukan tulangan minimum	Hanya memerlukan tulangan minimum

Tabel 2.49 Rekapitulasi Kekangan Luar Zona Sendi Plastis Sumbu Kuat

Keterangan	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
V _u (N)	60.450	61.400	41.510	21.330
φ	0,75	0,75	0,75	0,75
d (mm)	287,5	437,5	287,5	234,5
V _c (N)	142.584	226.968	109.994	65.509
V _c > V _s	Hanya memerlukan tulangan minimum	Hanya memerlukan tulangan minimum	Hanya memerlukan tulangan minimum	Hanya memerlukan tulangan minimum

Tabel 2.50 Rekapitulasi Dimensi Kolom Terpakai

Keterangan	Kolom Tipe 1	Kolom Tipe 2	Kolom Tipe 3	Kolom Tipe 4	Kolom Tipe 5
Dimensi (mm)	650x500	500x350	550x500	400x350	300x300
Tul.Utama	16D19	10D19	14D19	8D19	6D19
Tul.Sengkang Tumpuan	3D13-50	3D13-50	3D13-60	3D13-60	2D16-60
Tul.Sengkang Lapangan	2D13-100	2D13-100	2D13-100	2D13-100	2D16-100

2.10 Perancangan Pelat Lantai

2.10.1 Penulangan Pelat Satu Arah

Perhitungan Penulangan Pelat Satu Arah

a. Menetapkan tebal pelat

$$h_{\text{minimum}} = \frac{l}{10}$$

$$h_{\text{minimum}} = \frac{1.000}{10}$$

$$h_{\text{minimum}} = 100 \text{ mm}$$

Maka digunakan tebal pelat adalah 130 mm

b. Analisis Pembebanan

Dari analisis menggunakan midas, didapatkan:

$$M_u (+) = 8,37 \text{ kN/m}$$

$$M_u (-) = 1,92 \text{ kN/m}$$

c. Menghitung kekuatan geser beton (V_c)

$$d = h - \text{selimut beton} - \frac{D_{\text{tulangan}}}{2}$$

$$d = 130 - 20 - \frac{10}{2}$$

$$d = 105 \text{ mm}$$

d. Menghitung koefisien tahanan lentur

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

Tumpuan:

$$k = \frac{8,37}{0,9 \times 1.000 \times 105^2}$$

$$k = 0,373$$

Lapangan:

$$k = \frac{1,92}{0,9 \times 1.000 \times 105^2}$$

$$k = 1,975$$

e. Menghitung rasio penulangan

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

Tumpuan:

$$\rho = \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,373}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$\rho = 0,000895$$

Lapangan:

$$\rho = \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,975}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$\rho = 0,0049$$

$$\rho_{maksimum} = 0,36 \frac{f'_c \times \beta_1}{f_y}$$

$$\rho_{maksimum} = 0,36 \frac{30 \times 0,84}{420}$$

$$\rho_{maksimum} = 0,02149$$

$$\rho < \rho_{maksimum} \text{ (OK) (Tumpuan)}$$

$$\rho < \rho_{maksimum} \text{ (OK) (Lapangan)}$$

f. Menghitung kebutuhan luas tulangan tarik

$$A_{s.req} = \rho \times b \times d$$

Tumpuan:

$$A_{s.req} = 0,000895 \times 1.000 \times 105$$

$$A_{s.req} = 93,975 \text{ mm}^2$$

Lapangan:

$$A_{s.req} = 0,02149 \times 1.000 \times 105$$

$$A_{s.req} = 514,5 \text{ mm}^2$$

Nilai dari luas minimum merupakan nilai terkecil dari:

$$A_{s.minimum} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$$

$$A_{s.minimum} = \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1.000 \times 130$$

$$A_{s.minimum} = 234 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.minimum} = 0,0014 \times A_g$$

$$A_{s.minimum} = 0,0014 \times 1.000 \times 130$$

$$A_{s.minimum} = 182 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.req} < A_{s.minimum}, \text{ jadi dipakai } A_s = 234 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.req} < A_{s.minimum}, \text{ jadi dipakai } A_s = 514,5 \text{ mm}^2$$

g. Menghitung spasi tulangan lentur terpasang

$$s = \frac{0,25 \pi D_{tulangan}^2 b}{A_s}$$

Tumpuan:

$$s = \frac{0,25 \pi 10^2 \cdot 1.000}{234}$$

$$s = 335,640 \text{ mm}$$

Lapangan:

$$s = \frac{0,25 \pi 10^2 \cdot 1.000}{514}$$

$$s = 152,714 \text{ mm}$$

Cek spasi maksimum

Nilai spasi maksimum merupakan nilai terkecil dari:

$$s_{maksimum} = 3 h$$

$$s_{maksimum} = 3 \times 130$$

$$s_{maksimum} = 390 \text{ mm}$$

$$s_{maksimum} = 450 \text{ mm}$$

$$s < s_{maksimum} \text{ (OK) (Tumpuan)}$$

$$s < s_{maksimum} \text{ (OK) (Lapangan)}$$

h. Menghitung spasi tulangan susut dan suhu

$$A_{sh.req} = A_{sh.min} = 0,0020 A_g$$

$$A_{sh.req} = 0,0020 \times 1.000 \times 130$$

$$A_{sh.req} = 260 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{0,25 \pi D_{tulangan}^2 b}{A_s}$$

$$s = \frac{0,25 \pi 10^2 \cdot 1.000}{260}$$

$$s = 302,076 \text{ mm}$$

Cek spasi maksimum

Nilai spasi maksimum merupakan nilai terkecil dari:

$$s_{maksimum} = 5 h$$

$$s_{maksimum} = 5 \times 130$$

$$s_{maksimum} = 650 \text{ mm}$$

$$s_{maksimum} = 450 \text{ mm}$$

$$S < S_{\text{maksimum}} \text{ (OK)}$$

2.10.2 Penulangan Pelat Dua Arah

b. Menetapkan tebal pelat

Mencari nilai lebar efektif

Lebar efektif merupakan nilai terkecil dari:

$$b_{e1} = b_w + 2h_w$$

$$b_{e1} = 250 + 2 \times 220$$

$$b_{e1} = 690 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 8h_f$$

$$b_{e1} = 250 + 8 \times 130$$

$$b_{e1} = 1.290 \text{ mm}$$

Maka dipakai lebar efektif sebesar 690 mm

Mencari inersia balok

$$y_1 = \frac{h_w}{2}$$

$$y_1 = \frac{220}{2}$$

$$y_1 = 110 \text{ mm}$$

$$y_2 = \frac{h_f}{2} + h_w$$

$$y_2 = \frac{130}{2} + 220$$

$$y_2 = 285 \text{ mm}$$

$$A_1 = h_w b_w$$

$$A_1 = 220 \times 250$$

$$A_1 = 55.000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = b_e h_f$$

$$A_2 = 220 \times 250$$

$$A_2 = 89.700 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2}$$

$$y = \frac{55.000 \times 110 + 89.700 \times 285}{55.000 + 89.700}$$

$$y = 218,483 \text{ mm}$$

$$I_b = \frac{1}{12} b_w h_w^3 + A_1 (y - y_1)^2 + \frac{1}{12} b_e h_f^3 + A_2 (y_2 - y)^2$$

$$I_b = \frac{1}{12} \times 250 \times 220^3 + 55.000 (218,483 - 110)^2 + \frac{1}{12} \times 690 \times$$

$$130^3 + 89.700 (285 - 218,483)^2$$

$$I_b = 1.392.310.367 \text{ mm}^3$$

Mencari inersia pelat

$$I_{p1} = \frac{1}{12} L_y h_f^3$$

$$I_{p1} = \frac{1}{12} \times 4.100 \times 130^3$$

$$I_{p1} = 750.641.666,7 \text{ mm}^3$$

$$I_{p2} = \frac{1}{12} L_x h_f^3$$

$$I_{p2} = \frac{1}{12} \times 3.000 \times 130^3$$

$$I_{p2} = 549.250.000 \text{ mm}^3$$

Mencari kekakuan pelat

$$\alpha = \frac{I_b}{I_{p1}}$$

$$\alpha = \frac{1.392.310.367}{750.641.666,7}$$

$$\alpha = 1,855$$

$$\alpha = \frac{I_b}{I_{p2}}$$

$$\alpha = \frac{1.392.310.367}{549.250.000}$$

$$\alpha = 2,535$$

Mencari rata-rata rasio kekakuan pelat

$$\alpha_{fm} = \frac{\sum \alpha}{n}$$

$$\alpha_{fm} = \frac{1,855+2,535}{2}$$

$$\alpha_{fm} = 2,195 (\alpha_{fm} > 2)$$

Mencari h minimum

$$\beta = \frac{l_{ny}}{l_{nx}}$$

$$\beta = \frac{(4.100-250)}{(3.000-250)}$$

$$\beta = 1,4$$

$$h_{min} = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1.400} \right)}{36 + 9\beta}$$

$$h_{min} = \frac{3.850 \left(0,8 + \frac{420}{1.400} \right)}{36 + 9 \times 1,4}$$

$$h_{min} = 87,140 \text{ mm}$$

c. Analisis Pembebanan

Bedasarkan analisis midas, didapatkan nilai momen maksimum sebagai berikut:

$$M_x = 8 \text{ kNm}$$

$$M_y = 11,8 \text{ kNm}$$

$$M_{tx} = 11,8 \text{ kNm}$$

$$M_{ty} = 8,6 \text{ kNm}$$

d. Menghitung kekuatan geser beton (V_c)

$$d_x = h - \text{selimut beton} - \frac{D_{tulangan}}{2}$$

$$d_x = 130 - 20 - \frac{10}{2}$$

$$d_x = 105 \text{ mm}$$

e. Menghitung koefisien tahanan lentur

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$k_{lx} = \frac{8}{0,9 \times 1.000 \times 105^2}$$

$$k_{lx} = 0,80625$$

$$k_{ly} = \frac{11,8}{0,9 \times 1.000 \times 95^2}$$

$$k_{ly} = 1,45275$$

$$k_{tx} = \frac{11,8}{0,9 \times 1.000 \times 105^2}$$

$$k_{tx} = 1,18922$$

$$k_{ty} = \frac{8,6}{0,9 \times 1.000 \times 95^2}$$

$$k_{ty} = 1,05879$$

f. Menghitung rasio penulangan

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

$$\rho_{lx} = \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,45275}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$\rho_{lx} = 0,00195$$

$$\rho_y = \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,18922}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$\rho_{ly} = 0,00356$$

$$\rho_{tx} = \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,05879}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$\rho_{tx} = 0,0029$$

$$\rho_{ty} = \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,80625}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$\rho_{ty} = 0,00258$$

Mencari rasio tulangan maksimum

$$\rho_{maksimum} = 0,36 \frac{f'_c \times \beta_1}{f_y}$$

$$\rho_{maksimum} = 0,36 \frac{30 \times 0,84}{420}$$

$$\rho_{maksimum} = 0,02149$$

$$\rho_{lx} < \rho_{maksimum} \text{ (OK)}$$

$$\rho_{ly} < \rho_{maksimum} \text{ (OK)}$$

$$\rho_{tx} < \rho_{maksimum} \text{ (OK)}$$

$$\rho_{ty} < \rho_{maksimum} \text{ (OK)}$$

g. Menghitung kebutuhan luas tulangan tarik

$$A_{s.req} = \rho \times b \times d$$

$$A_{s.req-lx} = 0,00195 \times 1.000 \times 105$$

$$A_{s.req-lx} = 204,854 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.req-ly} = 0,00356 \times 1.000 \times 95$$

$$A_{s.req-ly} = 338,533 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.req-tx} = 0,0029 \times 1.000 \times 105$$

$$A_{s.req-tx} = 304,581 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.req-ty} = 0,00258 \times 1.000 \times 105$$

$$A_{s.req-ty} = 304,678 \text{ mm}^2$$

h. Memeriksa Batasan minimum tulangan ($A_{s.min}$)

Nilai dari luas minimum merupakan nilai terkecil dari:

$$A_{s.minimum} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$$

$$A_{s.minimum} = \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1.000 \times 130$$

$$A_{s.minimum} = 234 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.minimum} = 0,0014 \times A_g$$

$$A_{s.minimum} = 0,0014 \times 1.000 \times 130$$

$$A_{s.minimum} = 182 \text{ mm}^2$$

i. Menghitung spasi tulangan lentur terpasang

$$S = \frac{0,25 \pi D_{tulangan}^2 b}{A_s}$$

$$S_{lx} = \frac{0,25 \times \pi \times 1.000}{234}$$

$$S_{lx} = 335,640 \text{ mm}$$

$$S_{ly} = \frac{0,25 \times \pi \times 1.000}{338,533}$$

$$S_{ly} = 232 \text{ mm}$$

$$S_{tx} = \frac{0,25 \times \pi \times 1.000}{304,581}$$

$$S_{tx} = 257,862 \text{ mm}$$

$$S_{ty} = \frac{0,25 \times \pi \times 1.000}{244,678}$$

$$S_{ty} = 320,993 \text{ mm}$$

Cek spasi maksimum

Nilai spasi maksimum merupakan nilai terkecil dari:

$$S_{maksimum} = 3 h$$

$$S_{maksimum} = 3 \times 130$$

$$S_{maksimum} = 390 \text{ mm}$$

$$S_{maksimum} = 450 \text{ mm}$$

$$S_{lx} < S_{maksimum} \text{ (OK)}$$

$$S_{ly} < S_{maksimum} \text{ (OK)}$$

$$S_{tx} < S_{maksimum} \text{ (OK)}$$

$$S_{ty} < S_{maksimum} \text{ (OK)}$$

Kesimpulan:

Dipakai D10-300 untuk lapangan arah x

Dipakai D10-200 untuk lapangan arah y

Dipakai D10-250 untuk tumpuan arah x

Dipakai D10-300 untuk tumpuan arah y

j. Menghitung spasi tulangan susut dan suhu

$$A_{sh.req} = A_{sh.min} = 0,0020 A_g$$

$$A_{sh.req} = 0,0020 \times 1.000 \times 130$$

$$A_{sh.req} = 260 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \pi D_{tulangan}^2 b}{A_s}$$

$$S = \frac{0,25 \pi 10^2 \cdot 1.000}{260}$$

$$S = 302,076 \text{ mm}$$

Cek spasi maksimum

Nilai spasi maksimum merupakan nilai terkecil dari:

$$S_{maksimum} = 5 h$$

$$S_{maksimum} = 5 \times 130$$

$$S_{maksimum} = 650 \text{ mm}$$

$$S_{maksimum} = 450 \text{ mm}$$

$$S < S_{maksimum} \text{ (OK)}$$

Kesimpulan: Dipasang tulangan D10-300

Tabel 2.51 Rekapitulasi Data Dimensi Plat Lantai

Keterangan	Tipe B	Tipe C	Tipe D	Tipe E	Tipe F
Ly (m)	4,1	3	4,1	4,1	3
Lx (m)	3	2,45	3	2,5	2,45
h (mm)	130	130	130	130	130
Lny (mm)	3850	2750	3850	3750	2800
Ln _x (mm)	2750	2200	2750	2150	2250
b (mm)	1000	1000	1000	1000	1000
fc' (MPa)	30	30	30	30	30
fy (MPa)	420	420	420	420	420
Dimensi balok (mm)	250 x 350	250 x 500	250 x 500	350 x 750	250 x 500
LL (kN)	1,92	1,92	1,92	4,79	1,92
DL (kN)	5,75	5,75	5,75	5,75	5,75
D _{long} (mm)	10	10	10	10	10
D _{trans} (mm)	10	10	10	10	10
Selimut (mm)	20	20	20	20	20

Tabel 2.52 Rekapitulasi Syarat Plat Lantai

Keterangan	Tipe B	Tipe C	Tipe D	Tipe E	Tipe F
L_y/L_x	1,3667	1,2245	1,3667	1,64	1,2245
$L_y/L_x \leq 2$	Pelat Dua Arah	Pelat Dua Arah	Pelat Dua Arah	Pelat Dua Arah	Pelat Dua Arah

Tabel 2.53 Rekapitulasi Analisis Tebal Plat Lantai

Keterangan	Type B	Type C	Type D	Type E	Type F
b_w (mm)	250	250	250	350	250
h_t (mm)	350	500	500	700	500
h_f (mm)	130	130	130	130	130
h_w (mm)	220	370	370	570	370
b_{e1} (mm)	690	990	990	1490	990
b_{e2} (mm)	1290	1290	1290	1390	1290
b_e (mm)	690	990	990	1390	990
y_1 (mm)	110	185	185	285	185
y_2 (mm)	285	435	435	635	435
A_1 (mm ²)	55.000	92.500	92.500	199.500	92.500
A_2 (mm ²)	89.700	128.700	128.700	180.700	128.700
y (mm)	218,483	330,457	330,457	451,347	330,457
I_b (mm ⁴)	1.392.310.367	4.600.207.217	4.600.207.217	17.271.103.844	4.600.207.217
I_{p1} (mm ⁴)	750.641.666,7	549.250.000	750.641.667	750.641.666,7	549.250.000
I_{p2} (mm ⁴)	549.250.000	448.554.167	549.250.000	457.708.333,3	448.554.167
α_1	1,855	8,375	6,128	23,008	8,375
α_2	2,535	10,256	8,375	37,734	10,256
α_{fm}	2,195	9,316	7,252	30,371	9,316
$h_{min.use}$	$(\alpha_{fm} > 2)$	$(\alpha_{fm} > 2)$	$(\alpha_{fm} > 2)$	$(\alpha_{fm} > 2)$	$(\alpha_{fm} > 2)$
β	1,4	1,250	1,4	1,744	1,250
h_{min} (mm)	87,140	64,021	87,140	79,793	64,021
h (mm)	130	130	130	130	130
$h > h_{min}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
h_{use} (mm)	130	130	130	130	130

Tabel 2.54 Rekapitulasi Analisis Pembebanan

Keterangan	Tipe B	Tipe C	Tipe D	Tipe E	Tipe F
M_{I_x} (kNm)	8	6,5	9,9	8,6	9,6
M_{I_y} (kNm)	11,8	5,8	10,4	11,9	6,6
M_{t_x} (kNm)	11,8	6,7	10,4	11,9	9,8
M_{t_y} (kNm)	8,6	6,7	9,9	11,3	9,8
d_x (mm)	105	105	105	105	105
d_y (mm)	95	95	95	95	95

Tabel 2.55 Rekapitulasi Koefisien Tahanan Lentur

Keterangan	Tipe B	Tipe C	Tipe D	Tipe E	Tipe F
k_{I_x}	0,806	0,655	0,998	0,867	0,968
k_{I_y}	1,453	0,714	1,280	1,465	0,813
k_{t_x}	1,189	0,675	1,048	1,199	0,812
k_{t_y}	1,059	0,825	1,219	1,391	0,988

Tabel 2.56 Rekapitulasi Rasio Penulangan

Keterangan	Tipe B	Tipe C	Tipe D	Tipe E	Tipe F
ρ_{I_x}	0,00195	0,00158	0,00242	0,00210	0,00235
ρ_{I_y}	0,00356	0,00172	0,00313	0,00360	0,00197
ρ_{t_x}	0,00290	0,00163	0,00255	0,00293	0,00240
ρ_{t_y}	0,00258	0,00200	0,00297	0,00341	0,00294
ρ_{max}	0,02160	0,02160	0,02160	0,02160	0,02160
$\rho_{I_x} < \rho_{max}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
$\rho_{I_y} < \rho_{max}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
$\rho_{t_x} < \rho_{max}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
$\rho_{t_y} < \rho_{max}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.57 Rekapitulasi Luas Tulangan Tarik

Keterangan	Tipe B	Tipe C	Tipe D	Tipe E	Tipe F
$A_{s.req-lx}$ (mm ²)	204,854	165,929	254,513	220,493	246,646
$A_{s.req-ly}$ (mm ²)	338,533	163,843	297,273	341,494	186,819
$A_{s.req-tx}$ (mm ²)	304,581	171,104	267,648	307,225	251,889
$A_{s.req-ty}$ (mm ²)	244,678	189,697	282,614	323,763	279,687
$A_{s.min}$ (mm ²)	234	234	234	234	234
$A_{s.req-lx} < A_{s.min}$	$A_{s.min}$	$A_{s.min}$	$A_{s.req}$	$A_{s.min}$	$A_{s.req}$
$A_{s.req-ly} < A_{s.min}$	$A_{s.req}$	$A_{s.min}$	$A_{s.req}$	$A_{s.req}$	$A_{s.min}$
$A_{s.req-tx} < A_{s.min}$	$A_{s.req}$	$A_{s.min}$	$A_{s.req}$	$A_{s.req}$	$A_{s.req}$
$A_{s.req-ty} < A_{s.min}$	$A_{s.req}$	$A_{s.min}$	$A_{s.req}$	$A_{s.req}$	$A_{s.req}$
$A_{s.use-lx}$ (mm ²)	234	234	254,513	234	246,646
$A_{s.use-ly}$ (mm ²)	338,533	234	297,273	341,494	234
$A_{s.use-tx}$ (mm ²)	304,581	234	267,648	307,225	251,889
$A_{s.use-ty}$ (mm ²)	244,678	234	282,614	323,763	279,687

Tabel 2.58 Rekapitulasi Tulangan Lentur Terpasang dan Spasi Digunakan

Keterangan	Tipe B	Tipe C	Tipe D	Tipe E	Tipe F
s_{lx} (mm)	335,640	335,640	308,589	335,640	318,431
s_{ly} (mm)	232,000	335,640	264,201	229,989	335,640
s_{tx} (mm)	257,862	335,640	293,444	255,643	311,803
s_{ty} (mm)	320,993	335,640	277,905	242,584	280,813
s_{max} (mm)	390	390	390	390	390
$s < s_{max}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
D_{lx} (mm)	D10 – 300	D10 – 300	D10 – 300	D10 – 300	D10 – 300
D_{ly} (mm)	D10 – 200	D10 – 300	D10 – 250	D10 – 200	D10 – 300
D_{tx} (mm)	D10 – 250	D10 – 300	D10 – 250	D10 – 250	D10 – 300
D_{ty} (mm)	D10 – 300	D10 – 300	D10 – 250	D10 – 200	D10 – 250

Tabel 2.59 Rekapitulasi Tulangan Susut dan Spasi Tulangan

Keterangan	Tipe B	Tipe C	Tipe D	Tipe E	Tipe F
$A_{sh.req}$ (mm ²)	260	260	260	260	260
s (mm)	302,076	302,076	302,076	302,076	302,076
s_{max} (mm)	450	450	450	450	450
D_{use}	P10 - 300	P10 - 300	P10 - 300	P10 - 300	P10 - 300

2.11 Hubungan Balok-Kolom

2.10.1 Hubungan 4 joint Balok Tipe 1, Tipe 3, dan Tipe 4 dengan Kolom Tipe 1

Perhitungan *joint* pada kolom tipe 1 (650 x 500) dengan tinggi kolom 3500 mm didapatkan data sebagai berikut:

Dimensi Balok 1 (BI 3) = 500 x 250 mm

$n_{tulangan.atas} = 3D16$

$n_{tulangan.bawah} = 3D16$

Dimensi Balok 2 (BI 1) = 400 x 300 mm

$n_{tulangan.atas} = 5D13$

$n_{tulangan.bawah} = 3D13$

Dimensi Balok 3 (BI 3) = 500 x 250 mm

$n_{tulangan.atas} = 3D16$

$n_{tulangan.bawah} = 3D16$

Dimensi Balok 4 (BI 4) = 700 x 350 mm

$n_{tulangan.atas} = 5D19$

$n_{tulangan.bawah} = 3D19$

$f_c' = 30$ MPa

$f_y = 420$ MPa

Faktor beton normal (λ) = 1

Tinggi balok terbesar (h_b) = 700 mm

Tinggi bersih kolom (L_n) = 2800 mm

Data lebar dan eksentrisitas balok sebagai berikut:

Lebar balok 1 (b_{b1}) = 250 mm

$$x_1 = \frac{(h-b_{b1})}{2} = 200 \text{ mm}$$

Lebar balok 2 (b_{b2}) = 250 mm

$$x_2 = \frac{(h-b_{b2})}{2} = 175 \text{ mm}$$

Lebar balok 3 (b_{b3}) = 250 mm

$$x_3 = \frac{(b-b_{b3})}{2} = 125 \text{ mm}$$

Lebar balok 4 (b_{b4}) = 350 mm

$$x_4 = \frac{(b-b_{b4})}{2} = 75 \text{ mm}$$

Perhitungan untuk mencari dimensi joint sebagai berikut:

Lebar joint menggunakan nilai terkecil dari $h + b_b$ atau $b_b + 2x$

$$\text{Lebar joint sisi 1 } (b_{j1}) = b_{b1} + 2x_1 = 250 + 2 \times 200 = 650 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar joint sisi 2 } (b_{j2}) = b_{b2} + 2x_2 = 250 + 2 \times 200 = 650 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar joint sisi 3 } (b_{j3}) = b_{b3} + 2x_3 = 250 + 2 \times 125 = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar joint sisi 4 } (b_{j4}) = b_{b4} + 2x_4 = 250 + 2 \times 125 = 500 \text{ mm}$$

Lebar efektif joint Y (b_j) menggunakan nilai terkecil dari b_{j1} dan b_{j2} = 650 mm

Lebar efektif joint X (h_j) menggunakan nilai terkecil dari b_{j3} dan b_{j4} = 500 mm

$$\text{Lebar efektif joint gempal X } (A_{jx}) = b_j \times h = 650 \times 650 = 422.500 \text{ mm}^2$$

$$\text{Lebar efektif joint gempal Y } (A_{jy}) = h_j \times b = 500 \times 500 = 250.000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek syarat tinggi joint } h_j \geq \frac{1}{2} h_b = 500 \geq \frac{1}{2} 700 = 500 \geq 350 \dots$$

Memenuhi

Cek kekangan balok pada kolom menggunakan syarat SNI 2847-2019 pada pasal 18.8.4.2 lebar balok $\geq \frac{3}{4}$ lebar efektif joint

$$\text{Balok 1} = 250 \text{ mm} \geq \frac{3}{4} \text{ lebar efektif joint} = \frac{3}{4} \times 500 = 375 \text{ mm} \dots$$

Tidak Mengekang

$$\text{Balok 2} = 300 \text{ mm} \geq \frac{3}{4} \text{ lebar efektif joint} = \frac{3}{4} \times 500 = 375 \text{ mm} \dots$$

Tidak Mengekang

Balok 3 = 250 mm $\geq \frac{3}{4}$ lebar efektif joint = $= \frac{3}{4} \times 600 = 487,5$ mm ...
Tidak Mengekang

Balok 4 = 350 mm $\geq \frac{3}{4}$ lebar efektif joint = $= \frac{3}{4} \times 600 = 487,5$ mm ...
Tidak Mengekang

Untuk data dan gaya tulangan balok didapatkan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$A_s^-1 = 0,25n\pi D^2 = 0,25 \times 3\pi \times 16^2 = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$A_s^+1 = 0,25n\pi D^2 = 0,25 \times 3\pi \times 16^2 = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$A_s^-2 = 0,25n\pi D^2 = 0,25 \times 2\pi \times 19^2 = 663,661 \text{ mm}^2$$

$$A_s^+2 = 0,25n\pi D^2 = 0,25 \times 2\pi \times 19^2 = 398,197 \text{ mm}^2$$

$$A_s^-3 = 0,25n\pi D^2 = 0,25 \times 3\pi \times 19^2 = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$A_s^+3 = 0,25n\pi D^2 = 0,25 \times 2\pi \times 19^2 = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$A_s^-4 = 0,25n\pi D^2 = 0,25 \times 5\pi \times 19^2 = 1417,644 \text{ mm}^2$$

$$A_s^+4 = 0,25n\pi D^2 = 0,25 \times 3\pi \times 19^2 = 850,586 \text{ mm}^2$$

Tegangan probabilitas tulangan (fpr) = $1,25f_y = 1,25 \times 525$ MPa

$$F_s^-1 = A_s^-1 \times fpr = 603,186 \times 525 = 316.673 \text{ N}$$

$$F_s^+1 = A_s^+1 \times fpr = 603,186 \times 525 = 316.673 \text{ N}$$

$$F_s^-2 = A_s^-2 \times fpr = 663,661 \times 525 = 348.422 \text{ N}$$

$$F_s^+2 = A_s^+2 \times fpr = 398,197 \times 525 = 209.053 \text{ N}$$

$$F_s^-3 = A_s^-3 \times fpr = 603,186 \times 525 = 316.673 \text{ N}$$

$$F_s^+3 = A_s^+3 \times fpr = 603,186 \times 525 = 316.673 \text{ N}$$

$$F_s^-4 = A_s^-4 \times fpr = 1417,644 \times 525 = 744.263 \text{ N}$$

$$F_s^+4 = A_s^+4 \times fpr = 850,586 \times 525 = 446.558 \text{ N}$$

Perhitungan gaya geser yang diakibatkan oleh balok dianalisis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Geser Arah Gempa X-} &= F_s^-3 + C4 = F_s^-3 + F_s^+4 = 316.673 + 446.558 \\ &= 763.230 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser Arah Gempa X+} &= F_s^-4 + C3 = F_s^-4 + F_s^+3 = 744.263 + 316.673 \\ &= 1.060.935 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser Arah Gempa Y-} &= F_s^-1 + C2 = F_s^-1 + F_s^+2 = 316.673 + 209.053 \\ &= 525.726 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser Arah Gempa Y+} &= F_s^-2 + C1 = F_s^-2 + F_s^+1 = 348.422 + 316.673 \\ &= 665.095 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan gaya geser kolom dianalisis sebagai berikut:

$$M_{pr}^- \text{ Balok 1} = 132.104.914 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^+ \text{ Balok 1} = 132.104.914 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^- \text{ Balok 2} = 111.748.305 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^+ \text{ Balok 2} = 68.953.922 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^- \text{ Balok 3} = 132.104.914 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^+ \text{ Balok 3} = 132.104.914 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^- \text{ Balok 4} = 445.666.989 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^+ \text{ Balok 4} = 274.849.777 \text{ Nmm}$$

$$V_e \text{ Balok 1} = 82.629 \text{ N}$$

$$V_e \text{ Balok 2} = 105.080 \text{ N}$$

$$V_e \text{ Balok 3} = 82.629 \text{ N}$$

$$V_e \text{ Balok 4} = 201.228 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_{col.X^-} &= \frac{(M_{pr}^+4 + M_{pr}^-3) + (V_e3 + V_e4)x\frac{h}{2}}{L_n} = \\ &= \frac{(274.849.777 + 132.104.914) + (82.629 + 201.228)x\frac{650}{2}}{2800} = 178.289 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{col.X^+} &= \frac{(M_{pr}^+3 + M_{pr}^-4) + (V_e3 + V_e4)x\frac{h}{2}}{L_n} = \\ &= \frac{(132.104.914 + 445.666.989) + (82.629 + 201.228)x\frac{650}{2}}{2800} = 239.295 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{\text{col.}Y^-} = \frac{(M_{pr}^{+2} + M_{pr}^{-1}) + (V_e1 + V_e2)x \frac{b}{2}}{L_n} = \frac{(68.953.922 + 132.104.914) + (82.629 + 105.080)x \frac{500}{2}}{2800} = 88.566 \text{ N}$$

$$V_{\text{col.}Y^+} = \frac{(M_{pr}^{+1} + M_{pr}^{-2}) + (V_e1 + V_e2)x \frac{b}{2}}{L_n} = \frac{(132.104.914 + 111.748.305) + (82.629 + 105.080)x \frac{500}{2}}{2800} = 103.850 \text{ N}$$

Total gaya geser pada joint dianalisis sebagai berikut:

$$V_jX^- = F_s^-3 + C4 - V_{\text{col.}X^-} = 763.230 - 178.289 = 770.893 \text{ N}$$

$$V_jX^+ = F_s^-4 + C3 - V_{\text{col.}X^+} = 1.060.935 - 239.295 = 921.429 \text{ N}$$

$$V_jY^- = F_s^-1 + C2 - V_{\text{col.}Y^-} = 665.095 - 88.566 = 675.188 \text{ N}$$

$$V_jY^+ = F_s^-2 + C1 - V_{\text{col.}Y^+} = 595.410 - 103.850 = 519.843 \text{ N}$$

Untuk mengetahui kuat geser pada joint menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Konfigurasi joint ynag digunakan} = 1\lambda\sqrt{f'c'}A_j$$

$$\text{Kuat Geser Nominal Joint Gempa X (V}_{nX}) = 1 \times 1 \times \sqrt{30} \times 422.500 = 2.3141.28 \text{ N}$$

$$\text{Kuat Geser Nominal Joint Gempa Y (V}_{nY}) = 1 \times 1 \times \sqrt{30} \times 250.000 = 1.369.306 \text{ N}$$

$$\text{Faktor Reduksi } (\phi) = 0,85$$

$$\text{Gaya Geser Joint Gempa X diambil nilai terbesar} = 821.641 \text{ N}$$

$$\text{Gaya Geser Joint Gempa Y diambil nilai terbesar} = 561.245 \text{ N}$$

$$\text{Faktor Keamanan Gempa X (SF}_x) = \frac{\phi V_{nX}}{V_{uX}} = \frac{0,85 \times 2.3141.28}{821.641} = 2,394$$

$$\text{Faktor Keamanan Gempa Y (SF}_Y) = \frac{\phi V_{nY}}{V_{uY}} = \frac{0,85 \times 1.369.306}{561.245} = 2,074$$

Kuat geser joint menggunakan syarat $SF > 1$... Memenuhi

Untuk menghitung panjang penyaluran tarik digunakan perhitungan sebagai berikut:

Tabel 2.60 Rekapitulasi Properti Material dan Penampang HBK

Uraian	K2	K3
Dimensi Kolom (mm)	300 x 500	500 x 550
L (mm)	3500	3500
Dimensi Balok 1 (mm)	BI 3 (500 x 250)	BI 3 (500 x 250)
$n_{tulangan.atas}$	3	3
$n_{tulangan.bawah}$	3	3
Dimensi Balok 2 (mm)	BI 1 (400 x 300)	BI 1 (400 X 300)
$n_{tulangan.atas}$	5	5
$n_{tulangan.bawah}$	3	3
Dimensi Balok 3 (mm)	BI 2 (450 x 250)	BI 3 (500 x 250)
$n_{tulangan.atas}$	3	3
$n_{tulangan.bawah}$	2	3
Dimensi Balok 4 (mm)	BI 3 (500 x 250)	BI 4 (350 x 700)
$n_{tulangan.atas}$	3	5
$n_{tulangan.bawah}$	3	3
f_c' (MPa)	30	30
f_y (MPa)	420	420
λ	1	1
h_b (mm)	500	700
L_n (mm)	3000	2800

Tabel 2.61 Rekapitulasi Lebar dan Eksentrisitas Balok

Uraian	K2	K3
x_1 (mm)	125	150
x_2 (mm)	125	125
x_3 (mm)	50	125
x_4 (mm)	50	75

Tabel 2.62 Rekapitulasi Dimensi Joint

Uraian	K2	K3
b_{j1} (mm)	500	550
b_{j2} (mm)	500	550
b_{j3} (mm)	350	500
b_{j4} (mm)	350	500
b_j (mm)	500	550
h_j (mm)	350	500
A_{jx} (mm ²)	122.500	250000
A_{jy} (mm ²)	250.000	302500
Syarat Tinggi Joint	Memenuhi	Memenuhi
Syarat Kekang B1	Tidak Mengekang	Tidak Mengekang
Syarat Kekang B2	Tidak Mengekang	Tidak Mengekang
Syarat Kekang B3	Tidak Mengekang	Tidak Mengekang
Syarat Kekang B4	Tidak Mengekang	Tidak Mengekang

Tabel 2.63 Rekapitulasi Data dan Gaya Tulangan Balok

Uraian	K2	K3
Diameter Tulangan (mm)	16	19
Cek dimensi Kolom	Memenuhi	Memenuhi
A_s^-1 (mm ²)	603,186	603,186
A_s^+1 (mm ²)	603,186	603,186
A_s^-2 (mm ²)	663,661	663,661
A_s^+2 (mm ²)	398,197	398,197
A_s^-3 (mm ²)	603,186	603,186
A_s^+3 (mm ²)	402,124	603,186
A_s^-4 (mm ²)	603,186	1417,644
A_s^+4 (mm ²)	603,186	850,586
f_{pr} (MPa)	525	525
F_s^-1 (N)	316673	316673
F_s^+1 (N)	316673	316673
F_s^-2 (N)	348422	348422
F_s^+2 (N)	209053	209053
F_s^-3 (N)	316673	316673
F_s^+3 (N)	211115	316673
F_s^-4 (N)	316673	744263
F_s^+4 (N)	316673	446558

Tabel 2.64 Rekapitulasi Gaya Geser Akibat Balok

Uraian	K2	K3
Geser Arah Gempa X ⁻ (N)	633345	893116
Geser Arah Gempa X ⁺ (N)	527788	1190821
Geser Arah Gempa Y ⁻ (N)	525726	893116
Geser Arah Gempa Y ⁺ (N)	665095	1190821

Tabel 2.65 Rekapitulasi Gaya Geser Kolom

Uraian	K2	K3
M_{pr}^- balok 1 (Nmm)	132104914	132104914
M_{pr}^+ balok 1 (Nmm)	132104914	132104914
M_{pr}^- balok 2 (Nmm)	111748305	111748305
M_{pr}^+ balok 2 (Nmm)	68953922	68953922
M_{pr}^- balok 3 (Nmm)	116271176	132104914
M_{pr}^+ balok 3 (Nmm)	79260712	132104914
M_{pr}^- balok 4 (Nmm)	132104914	445666989
M_{pr}^+ balok 4 (Nmm)	132104914	274849777
V_e balok 1 (N)	89919	82629
V_e balok 2 (N)	93178	105080
V_e balok 3 (N)	98587	82629
V_e balok 4 (N)	98587	201228
$V_{col}X^-$ (N)	99223	173220
$V_{col}X^+$ (N)	86886	234226
$V_{col}Y^-$ (N)	77700	90242
$V_{col}Y^+$ (N)	91965	105526

Tabel 2.66 Rekapitulasi Gaya Geser Total Joint

Uraian	K2	K3
V_jX^- (N)	534122	719896
V_jX^+ (N)	440901	956595
V_jY^- (N)	448026	802873
V_jY^+ (N)	573130	1085295

Tabel 2.67 Rekapitulasi Kuat Geser Joint

Uraian	K2	K3
Konfigurasi Joint	$1\lambda\sqrt{f'c'}A_j$	$1\lambda\sqrt{f'c'}A_j$
V_nX (N)	670960	1369306
V_nY (N)	1369306	1656861
ϕ	0,85	0,85
ϕV_nX (N)	570316	1163910
ϕV_nY (N)	1163910	1408332
V_uX (N)	534122	956595
V_uY (N)	573130	1085295
SF_x	1,068	1,217
SF_y	2,031	1,298
Cek kuat Geser	Memenuhi	Memenuhi

Tabel 2.68 Rekapitulasi Properti Material dan Penampang HBK

Uraian	K4	K5
Dimensi Kolom (mm)	350 x 400	300 x 300
L (mm)	3500	3500
Dimensi Balok 1 (mm)	BI 3 (500 x 250)	BI 1 (400 x 300)
$n_{\text{tulangan.atas}}$	3	5
$n_{\text{tulangan.bawah}}$	3	3
Dimensi Balok 2 (mm)	BI 1 (400 x 300)	BI 1 (400 x 300)
$n_{\text{tulangan.atas}}$	5	5
$n_{\text{tulangan.bawah}}$	3	3
Dimensi Balok 3 (mm)	BI 2 (450 x 250)	BI 1 (400 x 300)
$n_{\text{tulangan.atas}}$	3	5
$n_{\text{tulangan.bawah}}$	2	3
Dimensi Balok 4 (mm)	BI 3 (500 x 250)	BI 1 (400 x 300)
$n_{\text{tulangan.atas}}$	3	5
$n_{\text{tulangan.bawah}}$	3	3
f_c' (MPa)	30	30
f_y (MPa)	420	420
λ	1	1
h_b (mm)	500	400
L_n (mm)	3000	3100

Tabel 2.69 Rekapitulasi Lebar dan Eksentrisitas Balok

Uraian	K4	K5
x_1 (mm)	75	0
x_2 (mm)	50	0
x_3 (mm)	50	0
x_4 (mm)	50	0

Tabel 2.70 Rekapitulasi Dimensi Joint

Uraian	K4	K5
b_{j1} (mm)	400	300
b_{j2} (mm)	400	300
b_{j3} (mm)	350	300
b_{j4} (mm)	350	300
b_j (mm)	400	300
h_j (mm)	350	300
A_{jx} (mm ²)	122500	90000
A_{jy} (mm ²)	160000	90000
Syarat Tinggi Joint	Memenuhi	Memenuhi
Syarat Kekang B1	Tidak Mengekang	Mengekang
Syarat Kekang B2	Mengekang	Mengekang
Syarat Kekang B3	Tidak Mengekang	Mengekang
Syarat Kekang B4	Tidak Mengekang	Mengekang

Tabel 2.71 Rekapitulasi Data dan Gaya Tulangan Balok

Uraian	K4	K5
Diameter Tulangan (mm)	16	13
Cek dimensi Kolom	Memenuhi	Memenuhi
A_s^-1 (mm ²)	603,186	663,661
A_s^+1 (mm ²)	603,186	398,197
A_s^-2 (mm ²)	663,661	663,661
A_s^+2 (mm ²)	398,197	398,197
A_s^-3 (mm ²)	603,186	663,661
A_s^+3 (mm ²)	402,124	398,197
A_s^-4 (mm ²)	603,186	663,661
A_s^+4 (mm ²)	603,186	398,197
f_{pr} (MPa)	525	525
F_s^-1 (N)	316673	348422
F_s^+1 (N)	316673	209053
F_s^-2 (N)	348422	348422
F_s^+2 (N)	209053	209053
F_s^-3 (N)	316673	348422
F_s^+3 (N)	211115	209053
F_s^-4 (N)	316673	348422
F_s^+4 (N)	316673	209053

Tabel 2.72 Rekapitulasi Gaya Geser Akibat Balok

Uraian	K4	K5
Geser Arah Gempa X ⁻ (N)	633345	557476
Geser Arah Gempa X ⁺ (N)	527788	557476
Geser Arah Gempa Y ⁻ (N)	525726	557476
Geser Arah Gempa Y ⁺ (N)	665095	557476

Tabel 2.73 Rekapitulasi Gaya Geser Kolom

Uraian	K4	K5
M_{pr}^- balok 1 (Nmm)	132104914	111748305
M_{pr}^+ balok 1 (Nmm)	132104914	68953922
M_{pr}^- balok 2 (Nmm)	111748305	111748305
M_{pr}^+ balok 2 (Nmm)	68953922	68953922
M_{pr}^- balok 3 (Nmm)	116271176	111748305
M_{pr}^+ balok 3 (Nmm)	79260712	68953922
M_{pr}^- balok 4 (Nmm)	132104914	111748305
M_{pr}^+ balok 4 (Nmm)	132104914	68953922
V_e balok 1 (N)	89919	105087
V_e balok 2 (N)	93178	105087
V_e balok 3 (N)	98587	105087
V_e balok 4 (N)	98587	105087
$V_{col}X^-$ (N)	95937	68461
$V_{col}X^+$ (N)	83600	68461
$V_{col}Y^-$ (N)	79226	68461
$V_{col}Y^+$ (N)	93491	68461

Tabel 2.74 Rekapitulasi Gaya Geser Total Joint

Uraian	K4	K5
V_jX^- (N)	537408	489015
V_jX^+ (N)	444187	489015
V_jY^- (N)	446500	489015
V_jY^+ (N)	571604	489015

Tabel 2.75 Rekapitulasi Kuat Geser Joint

Uraian	K4	K5
Konfigurasi Joint	$1\lambda\sqrt{f'c}A_j$	$1,7\lambda\sqrt{f'c}A_j$
V_nX (N)	670960	1369306
V_nY (N)	876356	1656861
ϕ	0,85	0,85
ϕV_nX (N)	570316	1163910
ϕV_nY (N)	744903	1408332
V_uX (N)	537408	956595
V_uY (N)	571604	1085295
SF_x	1,061	1,217
SF_y	1,303	1,298
Cek kuat Geser	Memenuhi	Memenuhi

2.12 Perancangan Tangga

Penetapan dimensi awal:

$$\text{Lebar } L1 = 3.000 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar bordes} = 0,5 \times L1 = 0,5 \times 3.000 = 1.500 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi optrede (O)} = 175 \text{ mm}$$

$$\text{Antrede (A)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Sudut kemiringan tangga } (\alpha) = \tan^{-1} \left(\frac{O}{A} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{175}{300} \right) = 30,26^\circ$$

$$\text{Tebal pelat tangga } (h_{tg}) = 0,13 \text{ m} = 130 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi antar lantai } (H_{et}) = 3.500 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah anak tangga } (n) = \frac{H_{et}}{O} = \frac{3.500}{175} = 20 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} L_{tg} &= \left(\frac{1}{2} \times \frac{H_{et}}{O} - 1 \right) A \\ &= \left(\frac{1}{2} \times \frac{3.500}{175} - 1 \right) \times 300 \\ &= 2.700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Beban q_{tg}

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri tangga} &= \frac{h_{tg}}{\cos \alpha} \times \text{berat volume beton} \\ &= \frac{0,13}{\cos \alpha} \times 24 \\ &= 3,612 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat anak tangga} &= \frac{1}{2} \times O \times \text{berat volume beton} \\ &= \frac{1}{2} \times 0,175 \times 24 \\ &= 2,1 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ubin dan spesi} &= 0,05 \times \text{berat volume ubin} \\ &= 0,05 \times 0,21 \\ &= 0,0105 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Berat total } q_{tg} &= \text{Berat sendiri tangga} + \text{Berat anak tangga} + \text{Berat} \\ &\text{ubin dan spesi} + \text{Berat railing} \\ &= 3,612 + 2,1 + 0,0105 + 1 \\ &= 6,723 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Beban q_{bd}

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri tangga} &= h_{tg} \times \text{berat volume beton} \\ &= 0,13 \times 24 \\ &= 3,12 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ubin dan spesi} &= 0,05 \times \text{berat volume ubin} \\ &= 0,05 \times 21 \\ &= 1,05 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Beban total } q_{bd} &= \text{Berat sendiri tangga} + \text{Berat ubin \& spesi} + \text{Berat railing} \\ &= 3,12 + 1,05 + 1 \\ &= 5,17 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

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

Dari perhitungan midas didapatkan nilai momen dan geser sebagai berikut:

$$M_{DL} = 25,56 \text{ kNm}$$

$$M_{LL} = 15,98 \text{ kNm}$$

$$V_{DL} = 25,18 \text{ kN}$$

$$V_{LL} = 15,93 \text{ kN}$$

Kombinasi Beban:

$$M_{u1} = 1,4 M_{DL} = 1,4 \times 25,56 = 35,784 \text{ kNm}$$

$$M_{u2} = 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL} = 1,2 \times 25,56 + 1,6 \times 15,98 = 56,24 \text{ kNm}$$

$$V_{u1} = 1,4 V_{DL} = 1,4 \times 25,18 = 35,252 \text{ kN}$$

$$V_{u2} = 1,2 V_{DL} + 1,6 V_{LL} = 1,2 \times 25,18 + 1,6 \times 15,93 = 55,704 \text{ kN}$$

Dipilih:

$$M_{ur} = 56,24 \text{ kNm}$$

$$V_{ur} = 55,704 \text{ kN}$$

Rencana penulangan tangga tumpuan

$$M_{ux} = 0,5 M_{ur} = 0,5 \times 56,24 = 28,12 \text{ kNm}$$

Direncanakan:

Tulangan pokok = D16

Tulangan susut = P8

Fy tulangan pokok = 380 MPa

Fy tulangan susut = 280 MPa

B = 1000 mm

Selimut beton = 20 mm

$$h_{tg} = 130 \text{ mm}$$

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

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(30 - 28)}{7}$$

$$\beta_1 = 0,8357$$

$$d_s = h_{tg} + \text{selimut beton} - \frac{D_{tul.pokok}}{2}$$

$$d_s = 130 + 20 - \frac{16}{2}$$

$$d_s = 102 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 M_u}{1,7 \phi f'c b d^2}} \right]$$

$$\rho = \frac{0,85 \times 30}{380} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 28,12 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 30 \times 1000 \times 102^2}} \right]$$

$$\rho = 0,00843$$

$$A_{s,\min} = 0,002 b h d = 0,002 \times 1000 \times 130 \times 102$$

$$A_{s,\min} = 260 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{perlu}} = \rho b d = 0,00843 \times 1000 \times 102 = 859,86 \text{ mm}^2$$

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

$$s = \frac{0,25 \times \pi \times 102^2 \times 1000}{859,86}$$

$$s = 233,831 \text{ mm}$$

Digunakan D16-200

Mengecek Gaya Geser

$$V_c = 0,17\sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17\sqrt{30} \times 1000 \times 102$$

$$V_c = 94,9795 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 V_c$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 94,9795$$

$$\phi V_c = 71,231 \text{ kN} > V_u = 55,704 \text{ (Aman)}$$

Tulangan susut:

$$A_{s.min} = 260 \text{ mm}^2$$

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

$$s = \frac{0,25 \times \pi \times 102^2 \times 1000}{260}$$

$$s = 193,329 \text{ mm}$$

Digunakan P8-150

Tabel 2.76 Hasil penulangan tangga lapangan

Keterangan	Hasil
M_{ux} (kNm)	28,12
Tulangan Pokok	D16
Tulangan Susut	P8
Fy Tulangan Pokok (MPa)	380
Fy Tulangan Susut (MPa)	280
F'c (MPa)	30
B (mm)	1000
Selimit Beton (mm)	20
h_{ig} (mm)	130
β_1	0,835714
d_s	102
ρ	0,00843
$A_{s,min}$ (mm ²)	260
$A_{s,perlu}$ (mm ²)	859,86
s (mm)	233,831
Digunakan Tulangan Pokok	D16-200
V_c (kN)	94,975091
\emptyset	0,75
$\emptyset V_c > V_{ur}$	Memenuhi
Spasi Tulangan Geser	193,329
Digunakan Tulangan Geser	P8-150