

- Penyusunan WBS
- Perhitungan volume pekerjaan
- Analisis harga satuan
- Volume Pekerjaan dan Harga Satuan Pekerjaan (BOQ)
- Perhitungan durasi pekerjaan
- Penentuan hubungan antar kegiatan dan jenis tumpang tindih antar kegiatan
- Penyusunan *network diagram*
- Penjadwalan sumber daya
- Penyusunan *bar chart* dan kurva S



PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Penentuan Sistem Struktur (David A. 2019)

Dalam membuat desain suatu bangunan kita perlu memenuhi syarat syarat yang berlaku agar keamanan suatu bangunan terjamin. Dalam pembuatan desain atap telah dilakukan perhitungan agar memenuhi syarat yang berlaku, dengan menggunakan SNI 1727-2013 tentang beban minimum bangunan sebagai acuan untuk menghitung beban minimum perancangan gedung dan struktur lain. Desain struktur atap dari bangunan Pasar Sambilegi menggunakan struktur baja dengan SNI 1729-2015 sebagai acuan untuk mengecek keamanan dari defleksi dan tegangan pada gording, lalu untuk struktur

bangunan digunakan struktur beton bertulang dengan SNI 2847-2019 sebagai acuan untuk menentukan dimensi dan juga beban pada balok dan kolom bangunan. Perancangan menggunakan SNI 1726-2019 untuk mengikuti peraturan gempa yang berlaku. Jika mengacu pada peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 29/PRT/M/2006 mengenai Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung, setiap bangunan gedung haruslah memiliki struktur yang kuat, kokoh, dan stabil dalam memikul beban, terdapat 9 syarat, yaitu:

1. Sebuah gedung harus memiliki kemampuan untuk menopang beban yang sudah diperhitungkan mulai dari beban yang bekerja seperti beban muatan tetap maupun sementara, yang menyebabkan pengaruh aksi pada struktur, dan juga pengaruh dari faktor luar seperti gempa, korosi, jamur, dan juga serangga perusak struktur bangunan.
2. Dalam perencanaan struktur bangunan gedung terhadap pengaruh gempa, semua unsur struktur bangunan gedung baik dari sub struktur maupun struktur gedung haruslah diperhitungkan dalam memikul Gempa Rencana sesuai dengan zona gempanya.
3. Dalam mendesain bangunan gedung, harus dilakukan perhitungan guna memenuhi syarat keselamatan dan juga kelayakan, dalam mendesain gedung juga harus mempertimbangkan fungsi, lokasi, umur, dan pelaksanaan konstruksi bangunan tersebut.
4. Perancangan suatu bangunan harus dilakukan secara detail agar pada pembebanan maksimum tidak terjadi keruntuhan agar pengguna ataupun pengunjung gedung tidak terluka, dan dapat menyelamatkan diri.
5. Apabila bangunan gedung terletak pada lokasi tanah yang dapat terjadi fluktuasi, maka struktur bawah bangunan gedung harus direncanakan agar mampu menahan gaya likuifaksi dari tanah tersebut
6. Untuk menentukan tingkat keandalan struktur bangunan, harus dilakukan pemeriksaan keandalan bangunan gedung secara berkala sesuai dengan ketentuan dalam pedoman/petunjuk teknis tata cara pemeriksaan keandalan bangunan gedung
7. Perencanaan dan pelaksanaan perawatan struktur bangunan gedung seperti penambahan struktur atau penggantian struktur harus mempertimbangkan

persyaratan keselamatan struktur sesuai dengan pedoman dan standar teknis yang berlaku

8. Pembongkaran bangunan gedung dilakukan apabila bangunan gedung sudah tidak layak digunakan dan membahayakan pengguna maupun orang lain. Setiap pembongkaran bangunan gedung yang dilakukan juga harus dilaksanakan secara tertib dengan mempertimbangkan keselamatan masyarakat beserta lingkungannya
9. Pemeriksaan keandalan bangunan gedung dilaksanakan secara berkala sesuai klasifikasi bangunan harus dilakukan dan dampingi oleh ahli yang memiliki sertifikasi sesuai dengan bidang yang terkait

2.2 Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS) (Badan Standardisasi Nasional 2020)

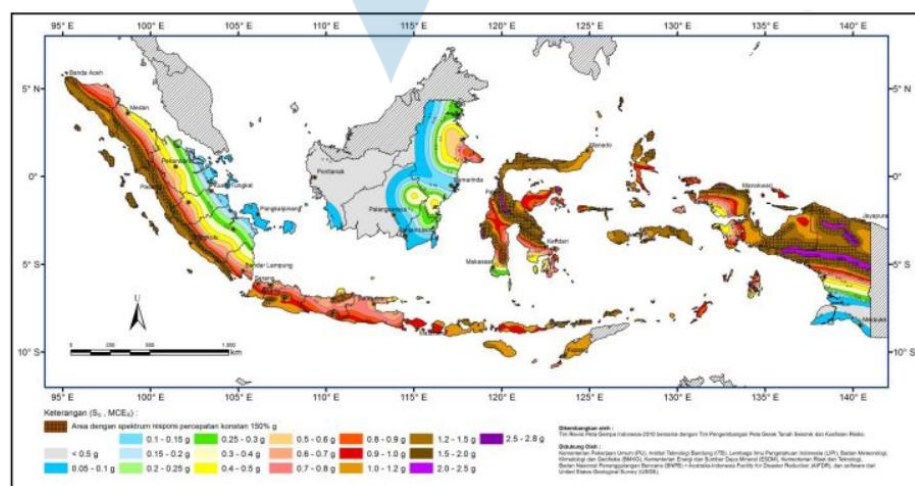
Kondisi Tanah

Menurut data, lahan yang digunakan adalah lahan perkebunan. Sesuai pada SNI 1727-2020 Tabel 3.2-1 – Beban lateral rencana, maka lahan tersebut termasuk dalam kategori Nomor 8 yaitu Campuran Lempung lanau – pasir dengan plastic halus.

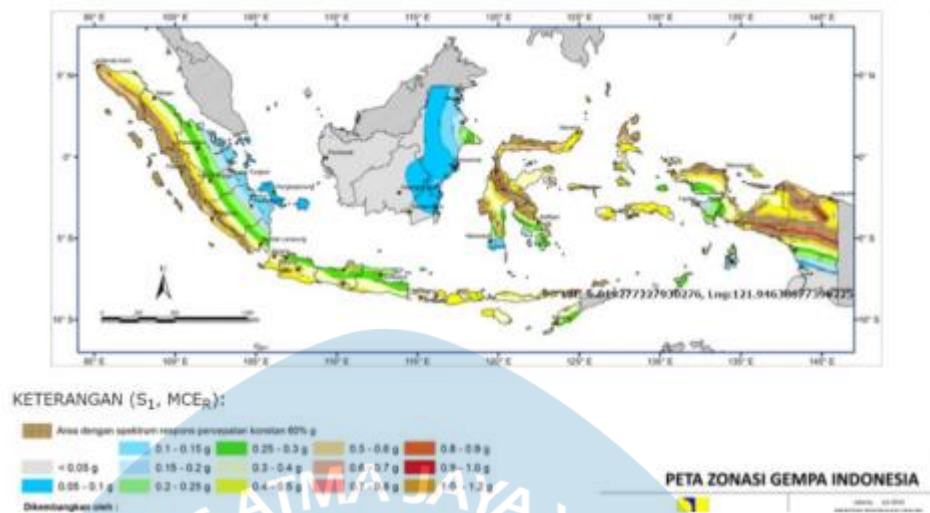
Menentukan S_s dan S_1 berdasarkan lokasi bangunan

Nilai S_s dan S_1 bangunan yang akan didirikan dapat dilihat pada peta zonasi yang terdapat pada Gambar 4 dan 5 di bawah.

Bangunan terletak di Sleman, Yogyakarta



Gambar 4 Peta Zonasi Gempa Indonesia (SS)



Gambar 5 Peta Zonasi Gempa Indoensia (S_1)

- S_s = 0,9
- S_1 = 0,4

Klasifikasi Situs pasal 5.3 Tabel 5 SNI 1726-2019

Dikarenakan data tanah yang diterima belum lengkap dan spesifik, sesuai dengan SNI 1726-2019 maka tanah diklasifikasikan dengan kelas situs (SE) dan berikut pada Tabel 3 terdapat data – data tanah kelas situs SE. (Badan Standardisasi Nasional 2019a)

Tabel 3 Klasifikasi Kelas Situs Tanah

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau Nch	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB	750 - 1500	N/A	N/A
SC	350 - 750	> 50	≥ 100
SD	175 - 350	15 - 50	50 - 100
SE	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $P_1 > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi	Setiap profil lapisantanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut :		

geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik - situs yang mengikuti 0)	- 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 $H > 3\text{m}$) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5\text{m}$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35\text{m}$ dengan $S_u < 50\text{ kPa}$
--	--

Menentukan F_a dan F_v berdasarkan situs kelas (SE)

Sesuai dengan tabel 6 dan 7 SNI 1726-2019 nilai koefisien F_a dan F_v didapat :

- F_a = tidak tercantum di dalam tabel sehingga perlu dilakukan perhitungan interpolasi seperti di bawah ini :
- $\frac{1-0,9}{1,1-F_a} = \frac{1-0,75}{1,1-1,3}$
- $\frac{0,1}{1,1-F_a} = \frac{0,25}{-0,2}$
- $-0,02 = 0,275 - 0,25F_a$
- $0,25 F_a = 0,295$
- $F_a = \frac{0,295}{0,25}$
- $F_a = 1,18$
- $F_v = 2,4$

Menentukan S_{ms} dan S_{m1}

$$\begin{aligned}
 - S_{ms} &= F_a \times S_s \\
 &= 1,18 \times 0,9 \\
 &= 1,062 \text{ g}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

$$\begin{aligned}
 - S_{m1} &= F_v \times S_1 \\
 &= 2,4 \times 0,4 \\
 &= 0,96 \text{ g}
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

Menentukan SDS dan $SD1$

$$\begin{aligned}
 - SDS &= \frac{2}{3} \times S_{ms} \\
 &= \frac{2}{3} \times 1,062 \\
 &= 0,708 \text{ g}
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{SD1} &= \frac{2}{3} \times Sm1 \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,96 \\
 &= 0,64 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Menentukan Faktor Keutamaan Gempa

Sesuai dengan SNI 1726-2019 Tabel 3 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa, Pasar Sambilegi termasuk dalam kategori risiko II yaitu pasar.

$$- \text{Faktor Keutamaan Gempa (Ie)} = 1,0 \text{ (SNI 1726-2019 Tabel 4)}$$

Menentukan KDS Bangunan

Sesuai SNI 1726-2019 Tabel 8 dan 9 dengan nilai SDS, SD1, dan kategori risiko bangunan yang telah didapat, maka dapat diketahui KDS dari Pasar Sambilegi yaitu:

$$\begin{aligned}
 - \text{Kategori Risiko} &= \text{II} \\
 - \text{SDS} &= 0,708 \geq 0,50 \\
 - \text{SD1} &= 0,64 \geq 0,20
 \end{aligned}$$

Dapat disimpulkan KDS Pasar Sambilegi adalah KDS D.

Menentukan Sistem Struktur dan Parameter Struktur Berdasar KDS D

$$\begin{aligned}
 - &\text{Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus} \\
 - \text{R} &= 8 \\
 - \text{Cd} &= 5,5 \\
 - \Omega_0 &= 3
 \end{aligned}$$

2.3 Preliminary Design

Dengan memperhatikan aturan yang tertera pada SNI dan peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 29/PRT/M/2006 mengenai Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung, dalam merancang bangunan memutuskan dengan menggunakan sistem struktur yang tepat dengan pemikiran dan gagasan awal yang dibahas saat mulai merancang sebelum memulai perhitungan dengan berdasarkan studi literature dari berbagai sumber seperti SNI, CRSI maupun mengacu pada design awal gambar arsitektur dengan antara lain:

1. Awal mula perencanaan kolom dibuat dengan ukuran 35 x 35 cm dengan jarak kolom 3-4 m dengan mutu beton $f'_c = 25$ MPa namun akhirnya karena beberapa pertimbangan diubah menjadi ukuran 60 x 60 dan dengan $f'_c = 30$ Mpa yang mana akan disamakan dari lantai satu (1) sampai tiga (3).
2. Untuk pemikiran awal dipilih baja IWF dengan ukuran 200 x 300 cm, gording kanal C dengan ukuran 150 x 65 x 20 x 3,2mm – 6m, dan dengan jumlah sagrod 8 buah. Namun saat memasukan perhitungan diputuskan untuk menggunakan baja L saja dengan ukuran L45 x 45 x 5 sebagai batang Tarik dan L50 x 50 x 5 dengan ukuran gording dan jumlah sagrod tetap sama dan ditambah dengan Sambungan yang digunakan di atap adalah las dengan E60 XX. Untuk bahan atap sendiri tetap menggunakan atap bitumen datar yang beratnya 11 kg/m².
3. Dari hasil pembahasan yang selama ini dibahas dipikirkan bagaimana agar beban dari bangunan tidak terlalu berat maka dari itu dipilih sistem struktur plat lantai yang terbuat dari *void* hal ini mengurangi beban yang cukup besar dari beban yang seharusnya.
4. Ukuran balok awalnya digunakan empat (4) tipe ukuran balok induk dan satu (1) balok anak, namun karena ada beberapa pertimbangan dipilih menggunakan hanya satu (1) tipe balok induk yang berdimensi 55 x 40 cm dan balok anak berdimensi 45 x 35 cm.

2.3.1 Preliminary Design Pelat Lantai

Perhitungan Perencanaan Pelat

Data Umum :

- f'_c = 25 Mpa
- f_y = 420 Mpa
- B = 1000 mm
- S_b = 20 mm
- E_c = $4700 \times \sqrt{f'_c}$ (2.4)
 $= 4700 \times \sqrt{25}$
 $= 23.500$ Mpa
- E_s = 200.000 Mpa
- D. tul. Lentur = 10 mm
- D. tul. Susut = 10 mm
- Φ_{pelat} = 0,75 (SNI 2847-2019 Tabel 21.2.1 Faktor Reduksi Kekuatan)

Tipe dan Jenis Pelat :

- Pelat A = $l_y \times l_x$ (2.5)
 = 6.000×3.000 (pelat 2 arah)
- Pelat B = $l_y \times l_x$
 = 6.000×4.000 (pelat 2 arah)
- Pelat C = $l_y \times l_x$
 = 5.750×3.000 (pelat 2 arah)
- Pelat D = $l_y \times l_x$
 = 5.750×4.000 (pelat 2 arah)
- Pelat E = $l_y \times l_x$
 = 4.250×3.000 (pelat 2 arah)
- Pelat F = $l_y \times l_x$
 = 4.250×4.000 (pelat 2 arah)

2.3.2 Preliminary Design Balok**Balok Induk**

Data Umum :

- f'_c = 25 Mpa
- f_y = 420 Mpa
- l = 8.500 mm

Pengecekan Dimensi

$$\begin{aligned}
 - h &= \frac{l}{16} \text{ (kondisi perlekatan sederhana)} & (2.6) \\
 &= \frac{8.500}{16} \\
 &= 531,25 \text{ mm} \\
 &= 550 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - b &= \frac{2}{3} \times h & (2.7) \\
 &= \frac{2}{3} \times 531,25 \\
 &= 354,17 \text{ mm} \\
 &= 400 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan dimensi balok induk 550 x 400 mm.

Balok Anak

Pengecekan Dimensi

$$\begin{aligned}
 - \quad h &= \frac{l}{18,5} \text{ (kondisi menerus satu sisi)} \\
 &= \frac{8.500}{18,5} \\
 &= 459,46 \text{ mm} \\
 &= 500 \text{ mm} \\
 - \quad b &= \frac{2}{3} \times h \\
 &= \frac{2}{3} \times 459,46 \\
 &= 306,31 \text{ mm} \\
 &= 350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan dimensi balok anak 500 x 350 mm.

Pengecekan dimensi balok diatur dalam SNI 2847-2019 di tabel 9.3.1.1 tentang tinggi minimum balok nonprategang.

2.3.3 Preliminary Design Kolom

Data Umum :

$$\begin{aligned}
 - \quad f'c &= 30 \text{ Mpa} \\
 - \quad f_y &= 420 \text{ Mpa} \\
 - \quad b &= 600 \text{ mm} \\
 - \quad h &= 600 \text{ mm} \\
 - \quad \text{Tinggi Kolom} &= 3,8 \text{ m} \\
 - \quad S_b &= 40 \text{ mm} \\
 - \quad N. \text{ Tulangan} &= 20 \text{ buah} \\
 - \quad D. \text{ Tulangan} &= 22 \text{ mm} \\
 - \quad \text{As. Tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\
 &= 379,94 \text{ mm}^2 \\
 - \quad P_u &= 1.332,84 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Φ kolom = 0,9
- V_u = 95,2996 kN

Pengecekan Dimensi

- b = 600 mm
- h = 600 mm
- b/h = $\frac{b}{h}$ (2.8)
- = $\frac{600}{600}$
- = $1 > 0,4 \Rightarrow \text{Ok!}$

Sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.7.2.1 tentang batasan dimensi untuk kolom. Poin A mencakup tentang bentang dimensi kolom tidak boleh kurang dari 300 mm, dan poin B mencakup tentang rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4. Sehingga dimensi sudah memenuhi syarat.

Cek Penggunaan Nilai Rho (ρ)

- A_{gross} = $b \times h$ (2.9)
- = 600×600
- = 360.000 mm^2

- ρ_g = $\frac{N. \text{ Tulangan } \times \text{ As. Tulangan}}{A_{\text{gross}}}$ (2.10)
- = $\frac{20 \times 379,94}{360.000}$
- = $0,01 < 0,0211 < 0,06 \Rightarrow \text{Ok!}$
- = $0,0211 \times 100\%$
- = $2,11 \%$

Sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.7.4.1 tentang luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$. Sehingga ρ_g sudah memenuhi syarat.

2.4 Perencanaan Pembebanan Struktur

Perencanaan Pembebanan Struktur

Perencanaan pembebanan struktur yang direncanakan menggunakan aplikasi ETABS 2020 memiliki beberapa kombinasi yang telah tertera pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Perencanaan Pembebanan

No	COMB NAME	KOMBINASI							
1	DEAD	1	D+	1	SDL				
2	D+L	1	DEAD+	1	L				
3	D+0.75L	1	DEAD+	0.75	L				
4	D+0.7Ex+0.7Ey	1	DEAD+	0.7	Ex+	0.7	Ey		
5	D+0.525Ex+0.525Ey+0.75L	1	DEAD+	0.525	Ex+	0.525	Ey+	0.75	L
6	D-0.7Ex+0.7Ey	1	DEAD-	0.7	Ex+	0.7	Ey		
7	COMB1	1.4	DL						
8	COMB2	1.2	DL+	1.6	L				
9	COMB3	1.2	DL+	1	L+	1	Ex+	0.3	Ey
10	COMB4	1.2	DL+	1	L+	1	Ex-	0.3	Ey
11	COMB5	1.2	DL+	1	L-	1	Ex+	0.3	Ey
12	COMB6	1.2	DL+	1	L-	1	Ex-	0.3	Ey
13	COMB7	1.2	DL+	1	L-	0.3	Ex+	1	Ey
14	COMB8	1.2	DL+	1	L+	0.3	Ex-	1	Ey
15	COMB9	1.2	DL+	1	L-	0.3	Ex+	1	Ey
16	COMB10	1.2	DL+	1	L-	0.3	Ex-	1	Ey
17	COMB11	0.9	DL+	1	Ex+	0.3	Ey		
18	COMB12	0.9	DL+	1	Ex-	0.3	Ey		
19	COMB13	0.9	DL-	1	Ex+	0.3	Ey		
20	COMB14	0.9	DL-	1	Ex-	0.3	Ey		
21	COMB15	0.9	DL+	0.3	Ex+	1	Ey		
22	COMB16	0.9	DL+	0.3	Ex-	1	Ey		
23	COMB17	0.9	DL-	0.3	Ex+	1	Ey		
24	COMB18	0.9	DL-	0.3	Ex-	1	Ey		

2.5 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur menggunakan aplikasi ETABS 2020 sehingga menjadi bentuk 3D dari bangunan, dan struktur akan dimasukkan dengan beban yang telah dihitung.

2.5.1 Input Beban pada Model 3D

Langkah awal yang dilakukan untuk memasukkan beban pada model 3D adalah dengan membuat property material yang akan digunakan. Langkah – langkah pembuatan

model 3D pada aplikasi ETABS 2020 dijabarkan pada Gambar 7 hingga Gambar 14 di bawah ini.

Material Property Data

General Data

Material Name: 25 Mpa

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 24 kN/m³

Mass per Unit Volume: 2447 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 23500 MPa

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.00001 1/C

Shear Modulus, G: 9791.67 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

☒ Program Default (Based on Concrete Slab Design Code) ☐ User Specified

Gambar 6 Properti Material Beton f'_c 25 Mpa

Material Property Data

General Data

Material Name: 30mpa

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 24 kN/m³

Mass per Unit Volume: 2447 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 23500 MPa

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.00001 1/C

Shear Modulus, G: 9791.67 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

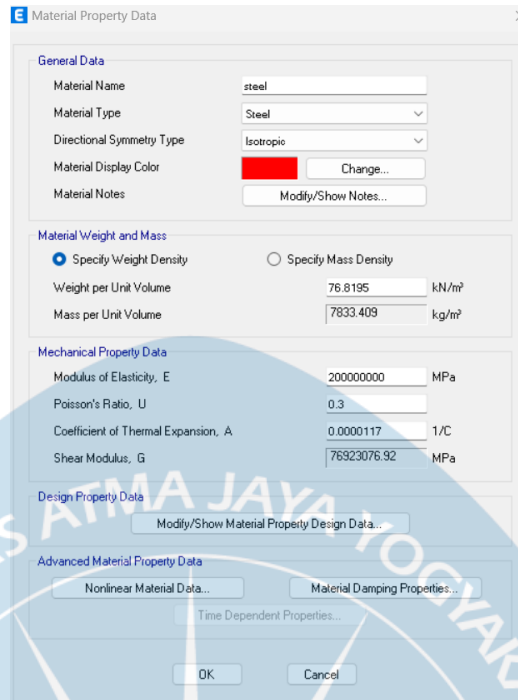
Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

☒ Program Default (Based on Concrete Slab Design Code) ☐ User Specified

Gambar 7 Properti Material Beton 30 Mpa



Material Property Data

General Data

Material Name: steel

Material Type: Steel

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 76.8195 kN/m³

Mass per Unit Volume: 7833.409 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 200000000 MPa

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

Shear Modulus, G: 76923076.92 MPa

Design Property Data

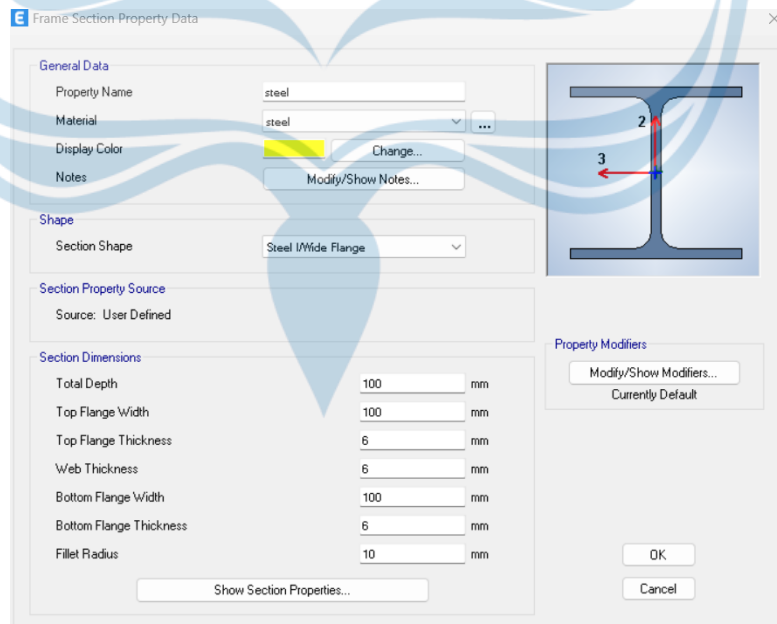
Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Gambar 8 Properti Material Baja



Frame Section Property Data

General Data

Property Name: steel

Material: steel

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Total Depth: 100 mm

Top Flange Width: 100 mm

Top Flange Thickness: 6 mm

Web Thickness: 6 mm

Bottom Flange Width: 100 mm

Bottom Flange Thickness: 6 mm

Fillet Radius: 10 mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers... Currently Default

OK Cancel

Gambar 9 Dimensi Baja IWF 50 x 50 x 6

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: Balok 550x400

Material: 25 Mpa

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 550 mm

Width: 400 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Gambar 10 Dimensi Balok Induk

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: Balok anak 450x300

Material: 25 Mpa

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 450 mm

Width: 300 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Gambar 11 Dimensi Balok Anak

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: K60x60

Material: 30mpa

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 600 mm

Width: 600 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

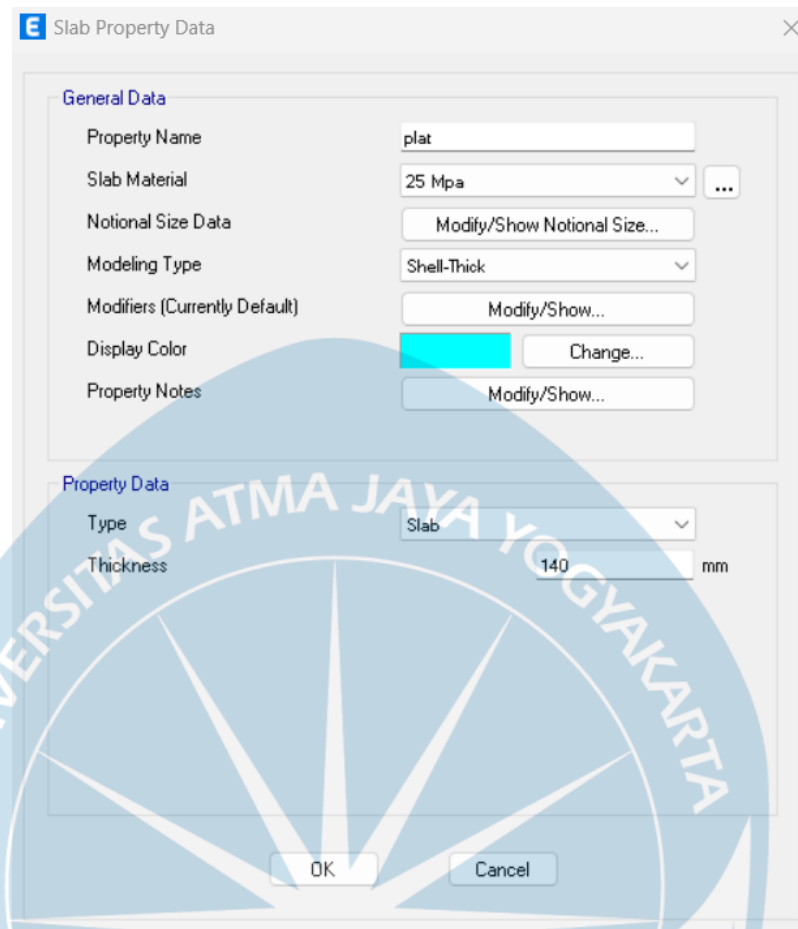
Modify/Show Rebar...

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

OK Cancel

Gambar 12 Dimensi Kolom



Slab Property Data

General Data

Property Name: plat

Slab Material: 25 Mpa

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thick

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

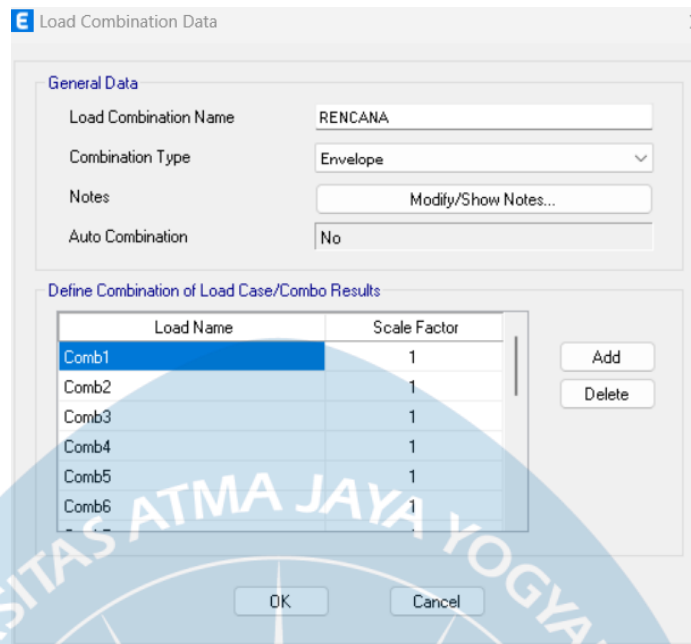
Type: Slab

Thickness: 140 mm

OK Cancel

Gambar 13 Spesifikasi Pelat

Setelah properti material dan dimensi dari bagian pada bangunan dibuat, selanjutnya beban yang telah didapatkan akan dimasukkan ke dalam ETABS 2020. Beban yang telah dimasukkan ke dalam aplikasi akan ditambahkan dengan kombinasi pembebanan seperti pada Gambar 15 di bawah.



Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: RENCANA

Combination Type: Envelope

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

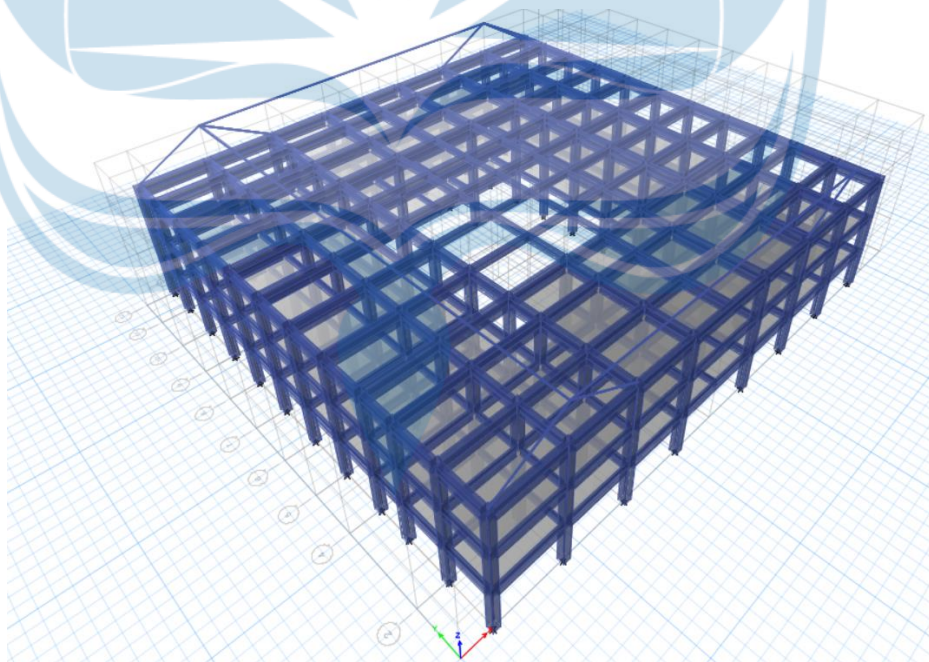
Load Name	Scale Factor
Comb1	1
Comb2	1
Comb3	1
Comb4	1
Comb5	1
Comb6	1

Add Delete

OK Cancel

Gambar 14 Load Combination Data

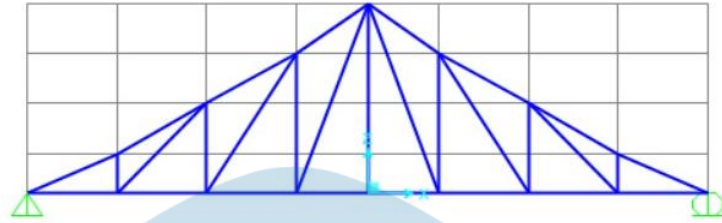
Setelah *load combination* dibuat maka pemodelan struktur pada aplikasi ETABS 2020 sudah selesai. Hasil pembebanan dapat dilihat pada Gambar 16 di bawah ini.



Gambar 15 Pemodelan 3D ETABS

2.6 Perancangan Struktur Atap

Pemodelan struktur atap dapat dilihat pada Gambar 17 di bawah ini.



Gambar 16 Pemodelan Atap

2.6.1 Perencanaan Gording

Data Umum :

- Jarak gording = 1,5 m
- L_1 = 4 m
- = 4000 mm
- θ = 30°
- $\cos \theta$ = 0,8
- $\sin \theta$ = 0,5
- Massa bitumen = 14 kg
- Massa plafond = 20 kg
- Berat gording = 6 kg
- F_y baja = 240 MPa

Beban Gording

- Berat sendiri = 9,27 = 0,0927 kN/m
- Berat atap = $\frac{1,5}{0,8} \times 0,14$ = 0,242487 kN/m
- Berat plafond = $1,5 \times 0,2$ = 0,3 kN/m
- DL rencana = 0,635187 kN/m
- LL = 1 kN/m

Rencana Momen Gording

Rencana momen gording dibutuhkan pembebanan gording arah sumbu 2 dan 3. Di bawah ini Gambar 18 dan Gambar 19 merupakan gambar rencana pembebanan gording arah sumbu 2 dan 3.



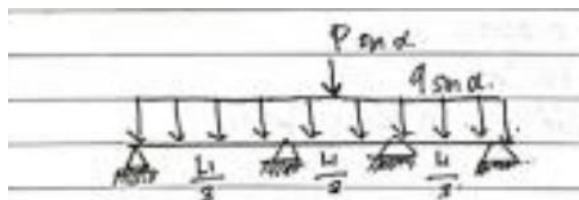
Gambar 17 Beban Gording Arah Sumbu 2

Beban Gording Arah Sumbu 2

$$\begin{aligned}
 - M_{3D} &= \frac{1}{8} \times q \times \cos \alpha \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 0,6352 \times \cos 30^\circ \times 4^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 0,6352 \times 0,8 \times 4^2 \\
 &= 1,1002 \text{ kNm}
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

$$\begin{aligned}
 - M_{3,L} &= \frac{1}{4} \times P \times \cos \alpha \times L \\
 &= \frac{1}{4} \times 1 \times \cos 30^\circ \times 4 \\
 &= \frac{1}{4} \times 1 \times 0,8 \times 4 \\
 &= 0,8 \text{ kNm}
 \end{aligned}
 \tag{2.11}$$

Beban Gording Arah Sumbu 3



Gambar 18 Beban Gording Arah Sumbu 3

$$\begin{aligned}
 - \quad M_{2D} &= \frac{1}{8} \times q \times \sin \alpha \times \left(\frac{L}{3}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 0,63519 \times \sin 30^\circ \times \left(\frac{4}{3}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 0,63519 \times 0,5 \times \left(\frac{4}{3}\right)^2 \\
 &= 0,07058 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad M_{2,L} &= \frac{1}{4} \times P \times \sin \alpha \times \frac{L}{3} \\
 &= \frac{1}{4} \times 1 \times \sin 30^\circ \times \frac{4}{3} \\
 &= \frac{1}{4} \times 1 \times 0,5 \times \frac{4}{3} \\
 &= 0,16667 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$- \quad M_{3U} = 1,4 \quad M_{3D} \quad (2.12)$$

$$- \quad M_{3U} = 1,2 \quad M_{3D} + 1,6 \quad M_{3L} \quad (2.13)$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 - \quad M_{3U} &= 1,4 \times M_{3D} \\
 &= 1,4 \times 1,10018 \\
 &= 1,50425 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad M_{3U} &= 1,2 \quad M_{3D} + 1,6 \quad M_{3L} \\
 &= 1,2 (1,10018) + 1,6 (0,86603) \\
 &= 2,70585 \text{ kNm} \Rightarrow \text{dipilih yang besar}
 \end{aligned}$$

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

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

Maka,

$$\begin{aligned}
 - \quad M_{2U} &= 1,4 \quad M_{2D} \quad (2.14) \\
 &= 1,4 \times 0,07058 \\
 &= 0,09881 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad M_{2U} &= 1,2 \quad M_{2D} + 1,6 \quad M_{2L} \quad (2.15) \\
 &= 1,2 (0,07058) + 1,6 (0,16667) \\
 &= 0,35136 \text{ kNm} \Rightarrow \text{dipilih yang besar}
 \end{aligned}$$

Tegangan pada Profil

Data Umum :

Rencana profil = C150 x 65 x 20, t=3,2

$$\begin{aligned}
 - F_b &= \frac{M_{3U}}{\phi W_3} + \frac{M_{2U}}{\phi W_w} \leq F_y \\
 - F_y &= 240 \text{ Mpa} \\
 - \phi &= 0,9 \\
 - M_{3U} &= 2,70585 \\
 - M_{2U} &= 0,35136
 \end{aligned} \tag{2.16}$$

Profil C_{150 x 65 x 20}

$$\begin{aligned}
 - I_3 &= 332 \\
 &= 332000 \text{ mm}^4 \\
 - I_2 &= 54 \\
 &= 540000 \text{ mm}^4 \\
 - W_3 &= 44,2 \\
 &= 44200 \text{ mm}^3 \\
 - W_2 &= 12,2 \\
 &= 12200 \text{ mm}^3 \\
 - F_b &= \frac{M_{3U}}{\phi W_3} + \frac{M_{2U}}{\phi W_w} \leq F_y \\
 - F_b &= \frac{2,70585}{(0,9)(44200)} + \frac{0,35136}{(0,9)(12200)} \leq F_y \\
 &= 0,10002 \\
 &= 100,02 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa (Aman)}
 \end{aligned}$$

Karena 100,02 MPa lebih kecil dari sama dengan Fy baja (240 MPa), maka tegangan profil C aman.

Periksa Deflektor Gording

$$\begin{aligned}
 - \delta_2 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha L^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha L^3}{EI} \\
 &= \frac{5}{384} \times \frac{0,63519 \times \cos 30^\circ \times 4000^4}{200.000 \times 3.320.000} + \frac{1}{48} \times \frac{1 \times \cos 30^\circ \times 4000^3}{200.000 \times 3.320.000} \\
 &= 2,763226 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

$$- \delta_3 = \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha}{EI} \times \left(\frac{L}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha}{EI} \times \left(\frac{L}{3}\right)^3 \quad (2.18)$$

$$= \frac{5}{384} \times \frac{0,63519 \times \sin 30^\circ}{200.000 \times 500.000} \times \left(\frac{4000}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{1 \times \sin 30^\circ}{200.000 \times 540.000} \times \left(\frac{4000}{3}\right)^3$$

$$= 0,121244 \text{ mm}$$

$$- \delta = \sqrt{(2,763226)^2 + (0,121244)^2} \quad (2.19)$$

$$= 2,765885 \leq \left(\frac{1}{240} \times 400\right)$$

$$= 2,765885 \leq 16,66667 \Rightarrow (\text{Aman})$$

Perhitungan Sag-rod

Rencana Sag-rod :

$$- \text{Jumlah gording (n)} : 8$$

$$- F_{t,D} = n \times \left(\frac{4}{3} \times q \times \sin \alpha\right) \quad (2.20)$$

$$= 8 \times \left(\frac{4}{3} \times 0,63519 \times \sin 30^\circ\right)$$

$$= 3,38768 \text{ kN}$$

$$- F_{t,l} = \frac{n}{2} \times P \times \sin \alpha \quad (2.21)$$

$$= \frac{8}{2} \times 1 \times \sin 30^\circ$$

$$= 2$$

Kombinasi Pembebanan

$$- F_{t,U} = 1,4 \times F_{t,D} \quad (2.22)$$

$$= 1,4 \times 3,38768$$

$$= 4,742752 \text{ kN}$$

$$- F_{t,U} = 1,2 \times F_{t,D} + 1,6 \times F_{t,l} \quad (2.23)$$

$$= 1,2 (4,742752) + 1,6 (2)$$

$$= 8,8913 \text{ kN} \Rightarrow (\text{Dipilih})$$

Maka, luas sag-rod yang dibutuhkan :

$$- A_{sr} = \frac{F_t \times 10^3}{\phi \times F_y} \quad (2.24)$$

$$= \frac{8,8913 \times 10^3}{0,9 \times 240}$$

$$= 41,1634 \text{ mm}^2$$

Jadi, diameter dari sag-rod 7,23808 mm

2.6.2 Perencanaan Elemen Kuda-Kuda

Beban Kuda-kuda

- Berat kuda-kuda = 0,5

Beban P1

- Berat sendiri kuda-kuda $= \frac{4}{2} \times 0,5$
 $= 1 \text{ kN}$
- Berat gording $= 4 \times 0,0927$
 $= 0,3708 \text{ kN}$
- Berat atap $= \left(\frac{\left(\frac{1,5}{2} + 1 \right)}{0,86603} \right) \times (4 \times 0,14)$
 $= 1,13161 \text{ kN}$
- Berat plafond $= \left(\frac{1,5}{2} + 1 \right) \times 4 \times 0,2$
 $= 1,4 \text{ kN}$
- Beban P1
atap + berat plafond $= \text{berat sendiri kuda-kuda} + \text{berat gording} + \text{berat}$
 $= 1 + 0,3708 + 1,13161 + 1,4$
 $= 3,90241 \text{ kN}$

Beban P2

- Berat sendiri kuda-kuda $= \frac{1,5}{2} \times 0,5$
 $= 0,75 \text{ kN}$
- Berat gording $= 4 \times 0,0927$
 $= 0,3708 \text{ kN}$
- Berat atap $= \left(\frac{1,5}{0,86603} \right) \times (4 \times 0,14)$
 $= 0,966995 \text{ kN}$
- Berat plafond $= 1,5 \times 4 \times 0,2$
 $= 1,2 \text{ kN}$

- Beban P2 = berat sendiri kuda-kuda + berat gording + berat atap + berat plafond

$$= 0,75 + 0,3708 + 0,966995 + 1,2$$

$$= 3,29075 \text{ kN}$$

Beban P3

- Berat sendiri kuda-kuda $= \frac{1,5}{2} \times 0,5$
 $= 0,75 \text{ kN}$
- Berat gording $= 2 \times 4 \times 0,0927$
 $= 0,7416 \text{ kN}$
- Berat atap $= \left(\frac{1,5}{0,86603} \right) \times (4 \times 0,14)$
 $= 0,966995 \text{ kN}$
- Berat plafond $= 1,5 \times 4 \times 0,2$
 $= 1,2 \text{ kN}$
- Beban P3 = berat sendiri kuda-kuda + berat gording + berat atap + berat plafond

$$= 0,75 + 0,7416 + 0,966995 + 1,2$$

$$= 3,66155 \text{ kN}$$

Elemen Kuda-kuda

Rencana menggunakan baja 2L 50 x 50 x 6

- A $= 3,492 \text{ cm}^2$
 $= 349,2 \text{ mm}^2$
- Cx $= 1,24 \text{ cm}$
 $= 12,4 \text{ mm}$
- Cy $= 1,24 \text{ cm}$
 $= 12,4 \text{ mm}$
- Ix $= 6,5 \text{ cm}^4$
 $= 65000 \text{ mm}^4$
- Iy $= 6,5 \text{ cm}^4$
 $= 65.000 \text{ mm}^4$

2L 45 x 45 x 4

$$\begin{aligned}
 - \quad A_g &= 2A \\
 &= 2 \times 439,2 \\
 &= 698,4 \text{ mm}^2 \\
 - \quad I_{xy} &= 2I_x \\
 &= 2 \times 65000 \\
 &= 130.000 \text{ mm}^4 \\
 - \quad I_{yy} &= 2 \times (I_y + (C_y + (0,5 \times t_p)^2) \times A) \\
 &= 2 \times (65000 + (1,24 + (0,5 \times 8)^2) \times 349,2) \\
 &= 1.367.236 \text{ mm}^4
 \end{aligned} \tag{2.25}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad I_x &= \sqrt{\frac{I_{xy}}{A_g}} \\
 &= \sqrt{\frac{130000}{698,4}} \\
 &= 13,6433 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{2.26}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad I_y &= \sqrt{\frac{I_{yy}}{A_g}} \\
 &= \sqrt{\frac{1367236}{698,4}} \\
 &= 44,2456 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{2.27}$$

Karena $I_x < I_y$ maka nilai $R_{min} = 13,6433 \text{ mm}$

Batang tarik

$$\begin{aligned}
 - \quad N_u &= 46,402 \text{ kN} \\
 - \quad \emptyset &= 0,9 \\
 - \quad A_g &= 698,4 \text{ mm}^2 \\
 - \quad R_{min} &= 13,6433 \text{ mm} \\
 - \quad f_t &= \frac{N_u \times 1000}{\emptyset \times A_g} \\
 &= \frac{46,402 \times 1000}{0,9 \times 698,4} \\
 &= 73,8227 \text{ MPa}
 \end{aligned} \tag{2.28}$$

Karena $f_t = 73,8227 \text{ MPa} \leq 290 \text{ MPa} \Rightarrow (\text{Aman})$

Syarat Kelangsingan

$$\begin{aligned}
 - L_k &= 1.500 \text{ mm} \\
 - \lambda &= \frac{Lk}{r} \\
 &= \frac{1500}{13,6433} \\
 &= 109,944 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Karena $\lambda = 109,944 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa} \Rightarrow (\text{Aman})$

Rencana menggunakan baja L 50 x 50 x 6

$$\begin{aligned}
 - A &= 5,644 \text{ cm}^2 \\
 &= 564,4 \text{ mm}^2 \\
 - C_x &= 1,44 \text{ cm} \\
 &= 14,4 \text{ mm} \\
 - C_y &= 1,44 \text{ cm} \\
 &= 14,4 \text{ mm} \\
 - I_x &= 12,6 \text{ cm}^4 \\
 &= 126000 \text{ mm}^4 \\
 - I_y &= 12,6 \text{ cm}^4 \\
 &= 126.000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

2L 50 x 50 x 6

$$\begin{aligned}
 - A_g &= 2A \\
 &= 2 \times 564,4 \\
 &= 1128,8 \text{ mm}^2 \\
 - I_{xy} &= 2I_x \\
 &= 2 \times 126000 \\
 &= 252000 \text{ mm}^4 \\
 - I_{yy} &= 2 \times (I_y + (C_y + (0,5 \times t_p)^2) \times A) \\
 &= 2 \times (126000 + (1,24 + (0,5 \times 12)^2) \times 564,4) \\
 &= 2093295 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad I_x &= \sqrt{\frac{I_{xy}}{A_g}} \\
 &= \sqrt{\frac{252000}{1128,8}} \\
 &= 14,9414 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad I_y &= \sqrt{\frac{I_{yy}}{A_g}} \\
 &= \sqrt{\frac{2093295}{1128,8}} \\
 &= 43,0632 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena $I_x < I_y$ maka nilai $R_{min} = 14,9414 \text{ mm}$

Batang tekan

$$\begin{aligned}
 - \quad N_u &= 50,287 \text{ kN} \\
 - \quad \emptyset &= 0,9 \\
 - \quad A_g &= 1128,8 \text{ mm}^2 \\
 - \quad R_{min} &= 14,9414 \text{ mm} \\
 - \quad L_k &= 1725 \text{ mm} \\
 - \quad f_y &= 240 \text{ MPa} \\
 - \quad E &= 200000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Check batang 1

$$\begin{aligned}
 - \quad L_k &= 1500 \text{ mm} \\
 - \quad \lambda_c &= \sqrt{\left(\frac{1}{\pi} \times \frac{L_k}{r} \times \frac{f_y}{E}\right)} \quad (2.29)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\left(\frac{1}{\pi} \times \frac{1725}{14,9414} \times \frac{240}{200000}\right)} \\
 &= 1,27252
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad W &= 1,25 \times \lambda_c^2 \quad (2.30) \\
 &= 1,25 \times (1,27252)^2 \\
 &= 2,02412
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad f_c &= \frac{W \times N_u}{\emptyset \times A_g} \quad (2.31) \\
 &= \frac{0,73951 \times 50,287 \times 1000}{0,9 \times 1846} \\
 &= 22,3833 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Karena $f_c = 22,3833 \text{ MPa} \leq 290 \text{ MPa} \Rightarrow (\text{Aman})$

Syarat Kelangsingan

$$\begin{aligned}
 - L_k &= 1725 \text{ mm} \\
 - \lambda &= \frac{Lk}{r} \\
 &= \frac{1725}{14,9414} \\
 &= 115,451 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Karena $\lambda = 115,451 \text{ MPa} \leq 200 \text{ MPa} \Rightarrow (\text{Aman})$

2.6.3 Perencanaan Sambungan Kuda-Kuda

Data Umum :

$$\begin{aligned}
 - \text{Klasifikasi las} &= \text{E60 XX} \\
 - F_{uw} &= 415 \text{ Mpa} \\
 - \text{Profil baja L} &= 45 \times 45 \times 4 \\
 - h &= 45 \text{ mm} \\
 - C_e &= 12,4 \text{ mm} \\
 - N_u &= 46,402 \text{ kN} \\
 - N_u 1 &= \frac{(N_u \times (h - C_e))}{h} \quad (2.32) \\
 &= \frac{(46,402 \times 1000 \times (45 - 12,4))}{45} \\
 &= 33615,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - N_u 2 &= \frac{(N_u \times C_e)}{h} \quad (2.33) \\
 &= \frac{(46,402 \times 12,4)}{45} \\
 &= 12786,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena $N_u 1 > N_u 2$, maka diambil N_u dengan nilai terbesar yaitu $N_u 1 = 33615,7 \text{ N}$

Kuat Rencana Las

$$\begin{aligned}
 - T_w &= 4,5 \text{ mm} \\
 - T_i &= \frac{1}{2} \times \sqrt{2} \times 4,5 \\
 &= 3,18198 \text{ mm} \\
 - F_{uw} &= 415 \text{ MPa} \\
 - F_u &= 290 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Ru } 1 &= \phi f \times 0,75 \times T_i \times 0,6 \times F_{uw} & (2.34) \\
 &= 0,75 \times 0,75 \times 3,18198 \times 0,6 \times 415 \\
 &= 445,676 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Ru } 2 &= \phi f \times 0,75 \times T_i \times 0,6 \times F_u & (2.35) \\
 &= 0,75 \times 0,75 \times 3,18198 \times 0,6 \times 290 \\
 &= 311,436 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena $\text{Ru } 1 < \text{Ru } 2$, maka diambil Ru dengan nilai terkecil yaitu $\text{Ru } 2 = 311,436 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 - \text{Le} &= \frac{N_u \times 1}{2 \times \text{Ru } 2} & (2.36) \\
 &= \frac{33615,7}{2 \times 311,436} \\
 &= 53,9688 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Diambil ukuran las sepanjang 54 mm

Profil baja L 50 x 50 x 6

$$\begin{aligned}
 - h &= 50 \text{ mm} \\
 - C_e &= 14,4 \text{ mm} \\
 - N_u &= 50,287 \text{ kN} \\
 - N_u \times 1 &= \frac{(N_u \times (h - C_e))}{h} \\
 &= \frac{(50,287 \times 1000 \times (50 - 14,4))}{40} \\
 &= 35804,3 \text{ N} \\
 - N_u \times 2 &= \frac{(N_u \times C_e)}{h} \\
 &= \frac{(50,287 \times 14,4)}{50} \\
 &= 14482,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Karena $N_u \times 1 > N_u \times 2$, maka diambil N_u dengan nilai terbesar yaitu $N_u \times 1 = 35804,3 \text{ N}$

Kuat Rencana Las

$$\begin{aligned}
 - T_w &= 5 \text{ mm} \\
 - T_i &= \frac{1}{2} \times \sqrt{2} \times 5 \\
 &= 3,53553 \text{ mm} \\
 - F_{uw} &= 415 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- $F_u = 290 \text{ MPa}$
- $R_u 1 = \phi f \times 0,75 \times T_i \times 0,6 \times F_u$
 $= 0,75 \times 0,75 \times 3,53553 \times 0,6 \times 415$
 $= 495,196 \text{ mm}$
- $R_u 2 = \phi f \times 0,75 \times T_i \times 0,6 \times F_u$
 $= 0,75 \times 0,75 \times 3,53553 \times 0,6 \times 290$
 $= 346,04 \text{ mm}$

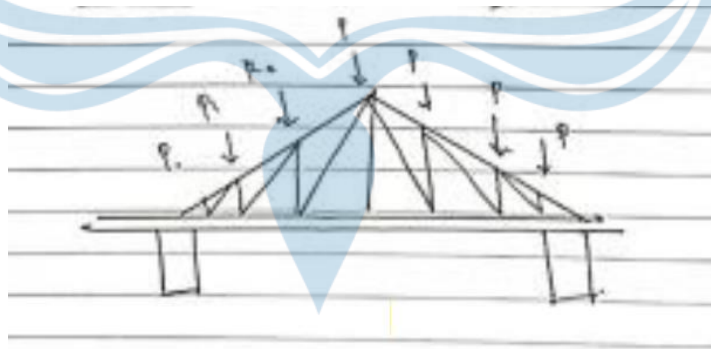
Karena $R_u 1 < R_u 2$, maka diambil R_u dengan nilai terkecil yaitu $R_u 2 = 346,04 \text{ mm}$

- $L_e = \frac{N_u 1}{2 \times R_u 2}$
 $= \frac{35804,3}{2 \times 346,04}$
 $= 51,7343 \text{ mm}$

Sehingga untuk sambungan las pada batang tekan diambil ukuran las sepanjang 52 mm.

Beban Angin

Perencanaan beban angin yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 20 di bawah ini.



Gambar 19 Beban Angin pada Atap

DITINJAU DARI SEBELAH KIRI

$$\begin{aligned}
 - \text{Beban W1} &= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w & (2.37) \\
 &= \frac{\left(\frac{0,76}{2}+1\right)}{0,86603} \times 0,4 \times 4 \times 0,4 \\
 &= 1,01983 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Beban W2} &= \frac{(a)}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w & (2.38) \\
 &= \frac{(1,5)}{0,86603} \times 0,4 \times 4 \times 0,4 \\
 &= 1,10851 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Beban W3} &= \frac{1}{2} \frac{(a)}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w & (2.39) \\
 &= \frac{1}{2} \frac{(1,5)}{0,86603} \times 0,4 \times 4 \times 0,4 \\
 &= 0,55426 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Beban W4} &= \frac{1}{2} \frac{(a)}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L \times Q_w & (2.40) \\
 &= \frac{1}{2} \frac{(1,5)}{0,86603} \times 0,6 \times 4 \times 0,4 \\
 &= 0,83138 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Beban W5} &= \frac{(a)}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L \times Q_w & (2.41) \\
 &= \frac{(1,5)}{0,86603} \times 0,6 \times 4 \times 0,4 \\
 &= 1,66277 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Beban W6} &= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L \times Q_w & (2.42) \\
 &= \frac{\left(\frac{0,76}{2}+1\right)}{0,86603} \times 0,6 \times 4 \times 0,4 \\
 &= 1,52975 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

DITINJAU DARI SEBELAH KANAN

$$\begin{aligned}
 - \text{Beban W1} &= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= \frac{\left(\frac{0,76}{2}+1\right)}{0,86603} \times 0,4 \times 4 \times 0,4 \\
 &= 1,01983 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Beban } W2 &= \frac{(a)}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= \frac{(1,5)}{0,86603} \times 0,4 \times 4 \times 0,4 \\
 &= 1,10851 \text{ kN} \\
 - \text{Beban } W3 &= \frac{1}{2} \frac{(a)}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= \frac{1}{2} \frac{(1,5)}{0,86603} \times 0,4 \times 4 \times 0,4 \\
 &= 0,55426 \text{ kN} \\
 - \text{Beban } W4 &= \frac{1}{2} \frac{(a)}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L \times Q_w \\
 &= \frac{1}{2} \frac{(1,5)}{0,86603} \times 0,6 \times 4 \times 0,4 \\
 &= 0,83138 \text{ kN} \\
 - \text{Beban } W5 &= \frac{(a)}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L \times Q_w \\
 &= \frac{(1,5)}{0,86603} \times 0,6 \times 4 \times 0,4 \\
 &= 1,66277 \text{ kN} \\
 - \text{Beban } W6 &= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L \times Q_w \\
 &= \frac{\left(\frac{0,76}{2}+1\right)}{0,86603} \times 0,6 \times 4 \times 0,4 \\
 &= 1,52975 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2.7 Perancangan Balok

Data Umum :

$$\begin{aligned}
 - f'c &= 25 \text{ Mpa} \\
 - f_y &= 420 \text{ Mpa} \\
 - f_y &= 280 \text{ Mpa} \\
 - b &= 350 \text{ mm} \\
 - h &= 500 \text{ mm} \\
 - D. \text{ Tul. Utama} &= 22 \text{ mm} \\
 - \text{As. Utama} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\
 &= 380,132 \text{ mm}^2 \\
 - D. \text{ Sengkang} &= 10 \text{ mm} \\
 - \text{As. Sengkang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\
&= 78,539 \text{ mm}^2 \\
- \text{ sb} &= 40 \text{ mm} \\
- \text{ ds} &= h - \text{sb} - \frac{D. \text{ Sengakang}}{2} \\
&= 500 - 40 - \frac{10}{2} \\
&= 455 \text{ mm} \\
- \Phi \text{ balok} &= 0,75 \\
- \text{ L. bersih} &= 4 \text{ m}
\end{aligned}$$

2.7.1 Perancangan Balok Anak

Tumpuan

$$\begin{aligned}
- \text{ Momen} &= 123,1792 \text{ kN} \\
- \rho &= \left(0,85 \times \frac{f'_c}{f_y}\right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{4 \times 123,1792}{1,7 \times 0,75 \times f'_c \times b \times d}\right)}\right) \quad (2.43) \\
&= \left(0,85 \times \frac{25}{420}\right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{4 \times 123,1792}{1,7 \times 0,75 \times 25 \times 350 \times 455}\right)}\right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,00572 \\
- \rho_{\max} &= 0,25 \\
- \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \quad (2.44) \\
&= \frac{1,4}{420} \\
&= 0,333
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
- \rho_{\text{pakai}} &= 0,00572 \\
- \text{ As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \quad (2.45) \\
&= 0,00572 \times 350 \times 455 \\
&= 910,933 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
- \text{ As Tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \quad (2.46) \\
&= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\
&= 380,132 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
- \text{ n. Tulangan} &= \frac{\text{As.perlu}}{\text{As.tulangan}} \quad (2.47) \\
&= \frac{910,933}{380,132} \\
&= 2,3963 \text{ buah}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ n. Pakai} &= 3 \text{ buah} \\
 - \text{ As. Pakai} &= \text{ n. Pakai} \times \text{ As. Tulangan}
 \end{aligned} \tag{2.48}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3 \times 380,132 \\
 &= 1.140,398 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$- \text{ a} = \frac{\text{As.pakai} \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \tag{2.49}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1.140,398 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 80,50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \frac{a}{2} &= \frac{80,50}{2} \\
 &= 40,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Mn} &= \frac{\text{As.pakai} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)}{10^6} \\
 &= \frac{1.140,398 \times 420 \times \left(455 - \frac{40,25}{2}\right)}{10^6} \\
 &= 198,6519 \text{ kNm}
 \end{aligned} \tag{2.50}$$

$$\begin{aligned}
 - \Phi \text{ Mn} &= 0,75 \times 198,6519 \\
 &= 148,9889 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Syarat 1} &= \frac{\Phi \text{ Mn}}{2} \\
 &= \frac{148,9889}{2} \\
 &= 74,494 \text{ kNm}
 \end{aligned} \tag{2.51a}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Syarat 2} &= \frac{\Phi \text{ Mn}}{4} \\
 &= \frac{148,9889}{4} \\
 &= 37,247 \text{ kNm}
 \end{aligned} \tag{2.52a}$$

Nilai $\Phi \text{ Mn}$ lebih besar dari syarat 1 dan 2 sehingga sudah memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.2 tentang kekuatan momen dan jumlah tulangan yang digunakan sudah memenuhi syarat dari SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.1.

Mpr Atas

$$\begin{aligned}
 - a &= 80,50 \text{ mm} \\
 - Mpr &= a \times (1,25 \times fy) \times \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right) \\
 &= 80,50 \times (1,25 \times 420) \times \left(d - \left(\frac{80,50}{2} \right) \right) \\
 &= 248.314.957,7 \text{ Nmm} \\
 &= 248,3149577 \text{ kNm}
 \end{aligned}
 \tag{2.53}$$

Mpr Bawah

$$\begin{aligned}
 - Mpr &= 248,3149577 \text{ kNm} \\
 - qu &= 12,8792 \text{ kN} \\
 - V \text{ kiri} &= \left(\frac{Mpr,a + Mpr,b}{L.bersih} \right) + \left(\frac{(qu \times L.bersih)}{2} \right) \\
 &= \left(\frac{248,315 + 248,315}{4} \right) + \left(\frac{(12,8792 \times 4)}{2} \right) \\
 &= 149,915 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{2.54a}$$

$$\begin{aligned}
 - V \text{ kanan} &= \left(\frac{Mpr,a + Mpr,b}{L.bersih} \right) - \left(\frac{(qu \times L.bersih)}{2} \right) \\
 &= \left(\frac{248,315 + 248,315}{4} \right) - \left(\frac{(12,8792 \times 4)}{2} \right) \\
 &= 98,399 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{2.54b}$$

$$\begin{aligned}
 - Ve &= \left(\frac{Mpr,a + Mpr,b}{4} \right) \\
 &= \left(\frac{248,315 + 248,315}{4} \right) \\
 &= 124,157 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{2.55}$$

$$- Vc = 0$$

$$\begin{aligned}
 - Vs &= \frac{V \text{ kiri}}{\phi} \\
 &= \frac{148,315}{0,75} \\
 &= 199,8878 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{2.56}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Syarat} &= 0,66 \times \sqrt{f'c \times b \times d} \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25 \times 350 \times 455} \\
 &= 1.316,902 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{2.57}$$

Karena nilai $Vs \leq$ dari syarat maka penampang balok aman digunakan.

Tulangan Sengkang Transversal

$$\begin{aligned}
 - N &= 3 \text{ buah} \\
 - S \text{ (asumsi)} &= 100 \text{ mm} \\
 - S &= \frac{As \times f_y \times d}{V_s} \quad (2.58) \\
 &= \frac{3 \times 78,539 \times 420 \times 455}{199,8878}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 150,178 \text{ mm} \\
 - S_{\max} &= 2S \quad (2.59) \\
 &= 2 \times 150,178 \\
 &= 300,347 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Syarat 1} &= \frac{d}{4} \quad (2.60a) \\
 &= \frac{455}{4} \\
 &= 113,75
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Syarat 2} &= 6d_b \quad (2.60b) \\
 &= 6 \times 22 \\
 &= 132 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$- \text{Syarat 3} = 150 \text{ mm} \quad (2.60c)$$

Sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.6.4.4 tentang jarak minimum sengkang terbukti bahwa nilai S (asumsi) tidak melebihi dari syarat – syarat yang ada sehingga nilai S (asumsi) dapat digunakan. Dipasang sengkang dengan 3D10-100.

Lapangan

$$\begin{aligned}
 - \text{Momen} &= 123,1792 \text{ kN} \\
 - \rho &= \left(0,85 \times \frac{f'_c}{f_y}\right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{4 \times 123,1792}{1,7 \times 0,75 \times f'_c \times b \times d}\right)}\right) \\
 &= \left(0,85 \times \frac{25}{420}\right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{4 \times 123,1792}{1,7 \times 0,75 \times 25 \times 350 \times 455}\right)}\right) \\
 &= 0,00572 \\
 - \rho_{\max} &= 0,25 \\
 - \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,333 \\
 - \text{ } \rho_{\text{pakai}} &= 0,00572 \\
 - \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\
 &= 0,00572 \times 350 \times 455 \\
 &= 910,933 \text{ mm}^2 \\
 - \text{As Tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^3 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^3 \\
 &= 380,132 \text{ mm}^2 \\
 - \text{n. Tulangan} &= \frac{\text{As.perlu}}{\text{As.tulangan}} \\
 &= \frac{910,933}{380,132} \\
 &= 2,3963 \text{ buah} \\
 - \text{n. Pakai} &= 3 \text{ buah} \\
 - \text{As. Pakai} &= \text{n. Pakai} \times \text{As. Tulangan} \\
 &= 3 \times 380,132 \\
 &= 1,140,398 \text{ mm}^2 \\
 - a &= \frac{\text{As.pakai} \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1,140,398 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 80,50 \text{ mm} \\
 - \frac{a}{2} &= \frac{80,50}{2} \\
 &= 40,25 \text{ mm} \\
 - M_n &= \frac{\text{As.pakai} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)}{10^6} \\
 &= \frac{\text{As.pakai} \times 420 \times \left(455 - \frac{40,25}{2}\right)}{10^6} \\
 &= 198,6519 \text{ kNm} \\
 - \Phi M_n &= 0,75 \times 198,6519 \\
 &= 148,9889 \text{ kNm} \\
 - \text{Syarat 1} &= \frac{\Phi M_n}{2} \\
 &= \frac{148,9889}{2} \\
 &= 74,494 \text{ kNm} \\
 - \text{Syarat 2} &= \frac{\Phi M_n}{4}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{148,9889}{4}$$

$$= 37,247 \text{ kNm}$$

Nilai ΦM_n lebih besar dari syarat 1 dan 2 sehingga sudah memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.2 tentang kekuatan momen dan jumlah tulangan yang digunakan sudah memenuhi syarat dari SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.1.

Mpr Atas

- a = 80,50 mm
- Mpr = $a \times (1,25 \times f_y) \times \left(d - \left(\frac{a}{2}\right)\right)$

$$= 80,50 \times (1,25 \times 420) \times \left(d - \left(\frac{80,50}{2}\right)\right)$$

$$= 248.314.957,7 \text{ Nmm}$$

$$= 248,3149577 \text{ kNm}$$

Mpr Bawah

- Mpr = 248,3149577 kNm
- qu = 12,8792 kN
- V kiri = $\left(\frac{M_{pr,a} + M_{pr,b}}{L_{bersih}}\right) + \left(\frac{(qu \times L_{bersih})}{2}\right)$

$$= \left(\frac{248,315 + 248,315}{4}\right) + \left(\frac{(12,8792 \times 4)}{2}\right)$$

$$= 149,915 \text{ kN}$$
- V kanan = $\left(\frac{M_{pr,a} + M_{pr,b}}{L_{bersih}}\right) - \left(\frac{(qu \times L_{bersih})}{2}\right)$

$$= \left(\frac{248,315 + 248,315}{4}\right) - \left(\frac{(12,8792 \times 4)}{2}\right)$$

$$= 98,399 \text{ kN}$$
- Ve = $\left(\frac{M_{pr,a} + M_{pr,b}}{4}\right)$

$$= \left(\frac{248,315 + 248,315}{4}\right)$$

$$= 124,157 \text{ kN}$$
- Vc = 0
- Vs = $\frac{V_{kiri}}{\Phi}$

$$= \frac{148,315}{0,75}$$

$$= 199,8878 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Syarat} &= 0,66 \times \sqrt{f'c \times b \times d} \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25 \times 350 \times 455} \\
 &= 1.316,902 \text{ Kn}
 \end{aligned}$$

Karena nilai $V_s \leq$ dari syarat maka penampang balok aman digunakan.

Tulangan Sengkang Longitudinal

$$\begin{aligned}
 - S \text{ (asumsi)} &= 200 \text{ mm} \\
 - A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 4 \quad (2.61)
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 - V_u &= V_{ki} - (1,2 \times q_u) \quad (2.62) \\
 &= 149,915 - (1,2 \times 12,8792) \\
 &= 134,460 \text{ kN} \\
 &= 134.460 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b \times d \quad (2.63) \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 350 \times 455 \\
 &= 135.362,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - V_s &= \frac{V_c}{\phi} - V_u \quad (2.64) \\
 &= \frac{135.362,5}{0,75} - 134.460 \\
 &= 43.918,618 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Syarat } V_s &= 0,33 \times \sqrt{f'c} \times b \times d \quad (2.65) \\
 &= 0,33 \times \sqrt{25} \times 350 \times 455 \\
 &= 262.762,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena nilai $V_s <$ syarat maka dinyatakan Aman.

$$\begin{aligned}
 - S1 \text{ Sengkang} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \quad (2.66a) \\
 &= \frac{314,159 \times 280 \times 455}{43.918,618} \\
 &= 911,311 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$- \text{S2 Sengkang} = \frac{d}{2} \quad (2.66b)$$

$$= \frac{455}{2}$$

$$= 227,5 \text{ mm}$$

$$- \text{S3 Sengkang} = \frac{A_v \times f_y}{0,35 \times b} \quad (2.66c)$$

$$= \frac{314,159 \times 280}{0,35 \times 350}$$

$$= 714,078 \text{ mm}$$

$$- \text{S4 Sengkang} = 600 \text{ mm}$$

Karena S (asumsi) tidak melebihi syarat – syarat di atas maka dapat dipasang sengkang 3D10-200.

Penulangan Balok Anak yang telah dihitung baik tulangan lentur maupun tulangan sengkang direkapitulasi pada Tabel 5 dan 6 di bawah ini.

Tabel 5 Rekapitulasi Penulangan Lentur Balok Anak

BALOK ANAK				
500/350		RENCANA PENULANGAN	LOKASI	TULANGAN
BI 3	ATAP	TUMPUAN	ATAS	2D22
			BAWAH	2D22
		LAPANGAN	ATAS	2D22
			BAWAH	2D22
BI 2	LANTAI 3	TUMPUAN	ATAS	2D22
			BAWAH	2D22
		LAPANGAN	ATAS	2D22
			BAWAH	2D22
BI 1	LANTAI 2	TUMPUAN	ATAS	3D22
			BAWAH	3D22
		LAPANGAN	ATAS	3D22
			BAWAH	3D22

Tabel 6 Rekapitulasi Penulangan Senggang Balok Anak

Balok Anak				
500/350		RENCANA PENULANGAN	LOKASI	TULANGAN
BI 3	ATAP	TUMPUAN	ATAS	3D10-100
			BAWAH	
		LAPANGAN	ATAS	3D10-200
			BAWAH	
BI 2	LANTAI 3	TUMPUAN	ATAS	3D10-100
			BAWAH	
		LAPANGAN	ATAS	3D10-200
			BAWAH	
BI 1	LANTAI 2	TUMPUAN	ATAS	3D10-100
			BAWAH	
		LAPANGAN	ATAS	3D10-200
			BAWAH	

2.7.2 Perancangan Balok SRPMK

- $f'_c = 25 \text{ Mpa}$
- $f_y = 420 \text{ Mpa}$
- $f_y = 280 \text{ Mpa}$
- $b = 400 \text{ mm}$
- $h = 550 \text{ mm}$
- D. Tul. Utama = 22 mm
- As. Utama $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2$
 $= 380,132 \text{ mm}^2$
- D. Senggang = 10 mm
- As. Senggang $= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$
 $= 78,539 \text{ mm}^2$
- sb = 40 mm

- $d_s = h - s_b - \frac{D. tul utama}{2}$
 $= 550 - 40 - \frac{22}{2}$
 $= 499 \text{ mm}$
- $\Phi \text{ balok} = 0,75$
- $L. \text{ bersih} = 8,5 \text{ m}$

Tumpuan

- Momen = 339,8341 kN
- $\rho = \left(0,85 \times \frac{f'_c}{f_y}\right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{4 \times 339,8341}{1,7 \times 0,75 \times f'_c \times b \times d}\right)}\right)$
 $= \left(0,85 \times \frac{25}{420}\right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{4 \times 339,8341}{1,7 \times 0,75 \times 25 \times 400 \times 550}\right)}\right)$
 $= 0,0123$
- $\rho_{max} = 0,25$
- $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$
 $= \frac{1,4}{420}$
 $= 0,333$
- $\rho_{pakai} = 0,0123$
- $As \text{ perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d$
 $= 0,0123 \times 400 \times 499$
 $= 2.642,142 \text{ mm}^2$
- $As \text{ Tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2$
 $= 380,132 \text{ mm}^2$
- $n. \text{ Tulangan} = \frac{As. perlu}{As. tulangan}$
 $= \frac{2.642,142}{380,132}$
 $= 6,477 \text{ buah}$
- $n. \text{ Pakai} = 8 \text{ buah}$
- $As. \text{ Pakai} = n. \text{ Pakai} \times As. \text{ Tulangan}$

$$\begin{aligned}
 &= 8 \times 380,132 \\
 &= 3.041,061 \text{ mm}^2 \\
 - \quad a &= \frac{As.pakai \times 1,25 \times fy}{0,85 \times f'c \times b} \\
 &= \frac{3.041,061 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 25 \times 400} \\
 &= 187,83 \text{ mm} \\
 - \quad \frac{a}{2} &= \frac{187,83}{2} \\
 &= 93,92 \text{ mm} \\
 - \quad Mn &= \frac{As.pakai \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)}{10^6} \\
 &= \frac{3.041,061 \times 420 \times \left(499 - \frac{46,96}{2}\right)}{10^6} \\
 &= 517,3929 \text{ kNm} \\
 - \quad \Phi Mn &= 0,75 \times 517,3929 \\
 &= 388,044 \text{ kNm} \\
 - \quad \text{Syarat 1} &= \frac{\Phi Mn}{2} \\
 &= \frac{388,044}{2} \\
 &= 194,022 \text{ kNm} \\
 - \quad \text{Syarat 2} &= \frac{\Phi Mn}{4} \\
 &= \frac{388,044}{4} \\
 &= 97,011 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Nilai ΦMn lebih besar dari syarat 1 dan 2 sehingga sudah memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.2 tentang kekuatan momen dan jumlah tulangan yang digunakan sudah memenuhi syarat dari SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.1.

Mpr Atas

$$\begin{aligned}
 - \quad a &= 187,83 \text{ mm} \\
 - \quad Mpr &= a \times (1,25 \times fy) \times \left(d - \left(\frac{a}{2}\right)\right) \\
 &= 187,83 \times (1,25 \times 420) \times \left(499 - \left(\frac{187,83}{2}\right)\right) \\
 &= 646.741.224,8 \text{ Nmm} \\
 &= 646,741224 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Mpr Bawah

- Mpr = 646,741224 kNm
- qu = 18,7392 kN
- V kiri = $\left(\frac{Mpr,a+Mpr,b}{L.bersih}\right) + \left(\frac{(qu \times L.bersih)}{2}\right)$
 $= \left(\frac{646,741+646,741}{8,5}\right) + \left(\frac{(18,7392 \times 8,5)}{2}\right)$
 $= 198,182 \text{ kN}$
- V kanan = $\left(\frac{Mpr,a+Mpr,b}{L.bersih}\right) - \left(\frac{(qu \times L.bersih)}{2}\right)$
 $= \left(\frac{646,741+646,741}{8,5}\right) - \left(\frac{(18,7392 \times 8,5)}{2}\right)$
 $= 38,899 \text{ kN}$
- Ve = $\left(\frac{Mpr,a+Mpr,b}{8,5}\right)$
 $= \left(\frac{646,741+646,741}{8,5}\right)$
 $= 118,540 \text{ kN}$
- Vc = 0
- Vs = $\frac{V \text{ kiri}}{\Phi}$
 $= \frac{198,182}{0,75}$
 $= 264,243 \text{ kN}$
- Syarat = $0,66 \times \sqrt{f'c \times b \times d}$
 $= 0,66 \times \sqrt{25 \times 400 \times 499}$
 $= 1.474,328 \text{ kN}$

Karena nilai Vs ≤ dari syarat maka penampang balok aman digunakan.

Tulangan Sengkang Transversal

- N = 4 buah
- S (asumsi) = 100 mm
- S = $\frac{As \times fy \times d}{Vs}$
 $= \frac{4 \times 78,539 \times 280 \times 499}{264,243}$
 $= 166,113 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 - \text{Smax} &= 2S \\
 &= 2 \times 166,113 \\
 &= 332,226 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Syarat 1} &= \frac{d}{4} \\
 &= \frac{499}{4} \\
 &= 124,75
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Syarat 2} &= 6db \\
 &= 6 \times 22 \\
 &= 132 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$- \text{Syarat 3} = 150 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.6.4.4 tentang jarak minimum sengkang terbukti bahwa nilai S (asumsi) tidak melebihi dari syarat – syarat yang ada sehingga nilai S (asumsi) dapat digunakan. Dipasang sengkang dengan 4D10-100.

Lapangan

$$- \text{Momen} = 339,8341 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 - \rho &= \left(0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{4 \times 339,8341}{1,7 \times 0,75 \times f'_c \times b \times d} \right)} \right) \\
 &= \left(0,85 \times \frac{25}{420} \right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{4 \times 339,8341}{1,7 \times 0,75 \times 25 \times 400 \times 550} \right)} \right) \\
 &= 0,0123
 \end{aligned}$$

$$- \rho_{\max} = 0,25$$

$$\begin{aligned}
 - \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,333
 \end{aligned}$$

$$- \rho_{\text{pakai}} = 0,0123$$

$$\begin{aligned}
 - \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\
 &= 0,0123 \times 400 \times 499 \\
 &= 2.642,142 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{As Tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\
 &= 380,132 \text{ mm}^2 \\
 - \text{n. Tulangan} &= \frac{As.perlu}{As.tulangan} \\
 &= \frac{2.642,142}{380,132} \\
 &= 6,477 \text{ buah} \\
 - \text{n. Pakai} &= 8 \text{ buah} \\
 - \text{As. Pakai} &= \text{n. Pakai} \times \text{As. Tulangan} \\
 &= 8 \times 380,132 \\
 &= 3.041,061 \text{ mm}^2 \\
 - a &= \frac{As.pakai \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{3.041,061 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 25 \times 400} \\
 &= 187,83 \text{ mm} \\
 - \frac{a}{2} &= \frac{187,83}{2} \\
 &= 93,92 \text{ mm} \\
 - M_n &= \frac{As.pakai \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)}{10^6} \\
 &= \frac{3.041,061 \times 420 \times \left(499 - \frac{46,96}{2}\right)}{10^6} \\
 &= 517,3929 \text{ kNm} \\
 - \Phi M_n &= 0,75 \times 517,3929 \\
 &= 388,044 \text{ kNm} \\
 - \text{Syarat 1} &= \frac{\Phi M_n}{2} \\
 &= \frac{388,044}{2} \\
 &= 194,022 \text{ kNm} \\
 - \text{Syarat 2} &= \frac{\Phi M_n}{4} \\
 &= \frac{388,044}{4} \\
 &= 97,011 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Nilai ΦM_n lebih besar dari syarat 1 dan 2 sehingga sudah memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.2 tentang kekuatan momen dan jumlah tulangan yang digunakan sudah memenuhi syarat dari SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.1.

Mpr Atas

- a = 187,83 mm
- Mpr = $a \times (1,25 \times f_y) \times \left(d - \left(\frac{a}{2}\right)\right)$
 $= 187,83 \times (1,25 \times 420) \times \left(499 - \left(\frac{187,83}{2}\right)\right)$
 $= 646.741.224,8 \text{ Nmm}$
 $= 646,741224 \text{ kNm}$

Mpr Bawah

- Mpr = 646,741224 kNm
- qu = 18,7392 kN
- V kiri = $\left(\frac{M_{pr,a} + M_{pr,b}}{L_{bersih}}\right) + \left(\frac{(qu \times L_{bersih})}{2}\right)$
 $= \left(\frac{646,741 + 646,741}{8,5}\right) + \left(\frac{(18,7392 \times 8,5)}{2}\right)$
 $= 198,182 \text{ kN}$
- V kanan = $\left(\frac{M_{pr,a} + M_{pr,b}}{L_{bersih}}\right) - \left(\frac{(qu \times L_{bersih})}{2}\right)$
 $= \left(\frac{646,741 + 646,741}{8,5}\right) - \left(\frac{(18,7392 \times 8,5)}{2}\right)$
 $= 38,899 \text{ kN}$
- Ve = $\left(\frac{M_{pr,a} + M_{pr,b}}{8,5}\right)$
 $= \left(\frac{646,741 + 646,741}{8,5}\right)$
 $= 118,540 \text{ kN}$
- Vc = 0

$$\begin{aligned}
 - V_s &= \frac{V_{\text{kiri}}}{\phi} \\
 &= \frac{198,182}{0,75} \\
 &= 264,243 \text{ kN} \\
 - \text{Syarat} &= 0,66 \times \sqrt{f'c \times b \times d} \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25 \times 400 \times 499} \\
 &= 1.474,328 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Karena nilai $V_s \leq$ dari syarat maka penampang balok aman digunakan.

Tulangan Sengkan Longitudinal

$$\begin{aligned}
 - S \text{ (asumsi)} &= 200 \text{ mm} \\
 - A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 4 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 4 \\
 &= 314,159 \text{ mm}^2 \\
 - V_u &= V_{ki} - (1,2 \times q_u) \\
 &= 198,182 - (1,2 \times 18,7392) \\
 &= 175,695 \text{ kN} \\
 &= 175.695 \text{ N} \\
 - V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 400 \times 499 \\
 &= 169660 \text{ N} \\
 - V_s &= \frac{V_c}{\phi} - V_u \\
 &= \frac{169660}{0,75} - 175.695 \\
 &= 64.600,521 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Syarat } V_s &= 0,33 \times \sqrt{f'c} \times b \times d \\
 &= 0,33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 499 \\
 &= 329.340 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena nilai $V_s < \text{syarat}$ maka dinyatakan Aman.

$$\begin{aligned}
 - \text{ S1 Sengkang} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\
 &= \frac{314,159 \times 280 \times 499}{64.600,521} \\
 &= 679,473 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ S2 Sengkang} &= \frac{d}{2} \\
 &= \frac{499}{2} \\
 &= 249,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ S3 Sengkang} &= \frac{A_v \times f_y}{0,35 \times b} \\
 &= \frac{314,159 \times 280}{0,35 \times 400} \\
 &= 628,318 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$- \text{ S4 Sengkang} = 600 \text{ mm}$$

Karena S (asumsi) tidak melebihi syarat – syarat di atas maka dapat dipasang sengkang 4D10-200.

Penulangan Balok Induk yang telah dihitung baik tulangan lentur maupun tulangan sengkang direkapitulasi pada Tabel 7 dan 8 di bawah ini.

Tabel 7 Rekapitulasi Penulangan Lentur Balok Induk

BALOK INDUK				
550/400		RENCANA PENULANGAN	LOKASI	TULANGAN
BI 3	ATAP	TUMPUAN	ATAS	4D22
			BAWAH	3D22
		LAPANGAN	ATAS	3D22
			BAWAH	3D22
BI 2	LANTAI 3	TUMPUAN	ATAS	6D22
			BAWAH	4D22
		LAPANGAN	ATAS	6D22
			BAWAH	6D22
BI 1		TUMPUAN	ATAS	8D22

	LANTAI 2	LAPANGAN	BAWAH	4D22
			ATAS	4D22
			BAWAH	4D22

Tabel 8 Rekapitulasi Penulangan Senggang Balok Induk

Balok Induk				
550/400		RENCANA PENULANGAN	LOKASI	TULANGAN
BI 3	ATAP	TUMPUAN	ATAS	2P10-100
			BAWAH	
		LAPANGAN	ATAS	2P10-200
			BAWAH	
BI 2	LANTAI 3	TUMPUAN	ATAS	4P10-100
			BAWAH	
		LAPANGAN	ATAS	4P10-200
			BAWAH	
BI 1	LANTAI 2	TUMPUAN	ATAS	4P10-100
			BAWAH	
		LAPANGAN	ATAS	4P10-200
			BAWAH	

2.8 Perancangan Kolom

Data Umum :

- f'_c = 30 Mpa
- f_y = 420 Mpa
- b = 600 mm
- h = 600 mm
- Tinggi Kolom = 3,8 m
- S_b = 40 mm
- N. Tulangan = 20 buah
- D. Tulangan = 22 mm
- As. Tulangan = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2$
 $= 379,94 \text{ mm}^2$
- P_u = 1.332,84 kN

- Φ kolom = 0,9
- V_u = 95,2996 kN

2.8.1. Perancangan Kolom SRPMK

A. Pengecekan Kuat Lentur Minimum

Momen Nominal Balok

- $M_{nb, ka}$ = 388,0447 kNm
- $M_{nb, ki}$ = 216,5153 kNm
- $M_{nb \text{ Nominal}} = M_{nb, ka} + M_{nb, ki}$ (2.67)
 $= 388,0447 + 216,5153$
 $= 604,5582 \text{ kNm}$

- $1,2M_{nb. \text{ Nom}} = 1,2 \times M_{n. \text{ Nominal}}$ (2.68)
 $= 1,2 \times 604,5582$
 $= 725,469 \text{ kNm}$

Momen Nominal Kolom

- $P_u \text{ atas}$ = 478,17 kN
- $P_u \text{ bawah}$ = 1332,84 kN
- $\Phi M_{n, a}$ = 399,63 kNm
- $\Phi M_{n, b}$ = 290,91 kNm
- $M_{nc, a} = \frac{\Phi M_{n, a}}{\Phi_{kolom}}$
 $= \frac{399,63}{0,9}$
 $= 444,033 \text{ kNm}$
- $M_{nc, b} = \frac{\Phi M_{n, b}}{\Phi_{kolom}}$
 $= \frac{290,91}{0,9}$
 $= 323,233 \text{ kNm}$
- $M_{nc. \text{ Nom}} = M_{nc, a} + M_{nc, b}$ (2.69)
 $= 444,033 + 323,233$
 $= 767,267 \text{ kNm}$

Sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.7.3.2 tentang kekuatan lentur minimum kolom yang harus memenuhi persamaan $\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \times \Sigma M_{nb}$ sehingga hasil momen nominal dari balok dan kolom yang didapat sudah memenuhi syarat *Strong Column – Weak Beam*.

Pengecekan Kuat Geser

- h balok = 0,55 m
- V_u = 95,2996 kN
- l_u = Tinggi Kolom – h balok
 $= 3,8 - 0,55$
 $= 3,25$
- $M_{prb, ki}$ = 388,0447 kNm
- $M_{prb, ka}$ = 216,5153 kNm
- $MPRK$ balok = $0,5 \times (M_{prb, ki} + M_{prb, ka})$ (2.70)
 $= 0,5 \times (388,0447 + 216,5153)$
 $= 302,2791$
- $V_e = \frac{MPRK \text{ balok}}{l_u}$ (2.71)
 $= \frac{302,2791}{3,25}$
 $= 186,0179 \text{ kN}$

Karena nilai $V_e > V_u$ maka $V_u = V_e = 186,0179 \text{ kN}$.

- d . sengkang = 13 mm
- $D = b - sb - \frac{d \cdot sengkang}{2}$ (2.72)
 $= 600 - 40 - \frac{13}{2}$
 $= 553,5 \text{ mm}$

Kuat geser beton diabaikan ($V_c = 0$) karena nilai $V_e > V_u$.

- $V_s = \frac{V_u}{\pi} - V_c$ (2.73)
 $= \frac{95,2996 \times 1.000}{\pi} - 0$
 $= 105.888,444 \text{ N}$
- $A_s/s = \frac{V_s}{F_{yt} \times d}$ (2.74)
 $= \frac{105.888,444}{420 \times 553,5}$
 $= 0,4555 \text{ mm}^2/\text{mm} \Rightarrow \text{pers. A}$

Penentuan Tulangan Transversal

$$\begin{aligned}
 - \quad bc &= b - 2sb \\
 &= 600 - 2 \times 40 \\
 &= 520 \text{ mm} \\
 - \quad Ach &= bc^2 \\
 &= 520^2 \\
 &= 270.400 \text{ mm}^2 \\
 - \quad Agross &= b \times h \\
 &= 600 \times 600 \\
 &= 360.000 \text{ mm}^2 \\
 - \quad Pu &= 1332,84 \text{ kN} \\
 - \quad 0,3Agf'_c &= 0,3 \times 360.000 \times 30 \\
 &= 3.240.000 \text{ N} \\
 &= 3.240 \text{ kN}
 \end{aligned} \tag{2.75}$$

Karena nilai $P_u < 0,3Agf'_c$ dan nilai $f'_c \leq 30 \text{ Mpa}$ maka untuk menghitung tulangan transversal pada kolom perlu pengecekan lagi menggunakan 2 persamaan yang terdapat pada SNI 2847-2019 tabel 18.7.5.4 tentang tulangan transversal untuk kolom SRPMK.

$$\begin{aligned}
 - \quad Ash/Sbc &= 0,3 \times \left(\frac{Ag}{Ach} - 1 \right) \times \frac{f'_c}{f_{yt}} \\
 &= 0,3 \times \left(\frac{360.000}{270.400} - 1 \right) \times \frac{30}{420} \\
 &= 0,0071
 \end{aligned} \tag{2.76}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad Ash/Sbc &= 0,09 \times \frac{f'_c}{f_{yt}} \\
 &= 0,09 \times \frac{30}{420} \\
 &= 0,0064
 \end{aligned} \tag{2.77}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad bc \times Ash/Sbc &= 520 \times 0,0071 \\
 &= 3,692 \text{ mm}^2/\text{mm} \Rightarrow \text{pers. B} \\
 - \quad bc \times Ash/Sbc &= 520 \times 0,0064 \\
 &= 3,343 \text{ mm}^2/\text{mm} \Rightarrow \text{pers. C}
 \end{aligned}$$

Karena nilai persamaan B paling besar maka persamaan B yang digunakan untuk perhitungan nilai tulangan transversal.

Tulangan Transversal di Daerah Sepanjang I0

$$\begin{aligned}
 - S \text{ (asumsi)} &= 100 \text{ mm} \\
 - A_{sh} &= b c \times A_{sh}/S_{bc} \text{ (pers.B)} \times S \\
 &= 3,692 \times 100 \\
 &= 369,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned} \tag{2.78}$$

$$\begin{aligned}
 - D. \text{ tulangan} &= 13 \text{ mm} \\
 - A_s. \text{ Tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 132,732 \text{ mm}^2
 \end{aligned} \tag{2.79}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Jumlah kaki} &= \frac{A_{sh}}{A_s. \text{ Tulangan}} \\
 &= \frac{369,2}{132,732} \\
 &= 2,7817 \text{ buah}
 \end{aligned} \tag{2.80}$$

$$- \text{Digunakan } n = 4 \text{ buah}$$

Pengecekan Syarat Jarak Tulangan Transversal

$$\begin{aligned}
 - \text{Syarat 1} &= \frac{1}{4} \times b \\
 &= \frac{1}{4} \times 600 \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{2.81a}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Syarat 2} &= 6 \times D. \text{ tulangan utama} \\
 &= 6 \times 22 \\
 &= 132 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{2.81b}$$

$$\begin{aligned}
 - H_x &= \frac{b - 2s_b - 2d. \text{ tul. transversal} - 22}{3} \\
 &= \frac{600 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - 22}{3} \\
 &= 157,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Syarat 3 (S0)} &= 100 + \left(\frac{350 - H_x}{3} \right) \\
 &= 100 + \left(\frac{350 - 157,33}{3} \right) \\
 &= 164,222 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{2.81c}$$

Sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.3 tentang spasi tulangan tidak lebih dari nilai terkecil dari 3 syarat di atas, sehingga untuk pemasangan tulangan 4D10 dengan jarak 100 aman untuk digunakan.

Tulangan Transversal di luar Daerah I0

$$\begin{aligned}
 - V_e &= 186,017 \text{ kN} \\
 - V_c &= 0,17\sqrt{f'_c} \times b \times D \\
 &= 0,17\sqrt{30} \times 600 \times 553,5 \\
 &= 309.227,7243 \text{ N} \\
 &= 309,22772 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{2.82}$$

Karena nilai $V_c > V_e$ maka digunakan jarak minimum yaitu 150 mm, sehingga dipasang tulangan 4D13-150 mm.

Semua penulangan transversal kolom baik di sepanjang maupun diluar I0 telah terekapitulasi pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9 Rekapitulasi Penulangan Kolom

REKAPITULASI TULANGAN KOLOM										
Kolom	Pu (kN)	Vu (kN)	Ve (kN)	Vc (kN)	Tulangan Transversal di Sepanjang I0 (Tumpuan)			Tulangan Transversal di Luar I0 (Lapangan)		
					n	D	S	n	D	S
L1	1332,84	952,996	18,601,791	3,092,277	4	13	100	4	13	150
L2	919,695	1,295,356	17,193,948	3,092,277	4	13	100	4	13	150
L3	286,03	135,655	11,104,797	3,092,277	4	13	100	4	13	150

2.8.2. Hubungan Balok Kolom

Data Umum :

- Ukuran Balok = 400 x 550
- B balok = 400 mm
- H balok = 550 mm
- Ukuran Kolom = 600 x 600
- B kolom = 600 mm
- H kolom = 600 mm
- f_y = 420 Mpa
- f'_c = 25 Mpa
- Ash/s = 3,692 mm²

Balok Tengah (keempat sisi kolom terdapat 4 buah balok)

$$\begin{aligned}
 - \quad \frac{3}{4} \text{ lebar kolom} &= \frac{3}{4} \times B \\
 &= \frac{3}{4} \times 600 \\
 &= 450 \text{ mm} \\
 - \quad B \text{ balok} &= 400 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \tag{2.83}$$

Tulangan Transversal (Ash)

$$\begin{aligned}
 - \quad \text{Ash/s} &= \frac{1}{2} \times \text{Ash Kolom} \\
 &= \frac{1}{2} \times 3,692 \\
 &= 1,846 \text{ mm}^2 \\
 - \quad S \text{ (jarak)} &= 100 \text{ mm} \\
 - \quad \text{Ash} &= 1,846 \times 100 \\
 &= 184,6 \text{ mm}^2 \\
 - \quad \text{Cek luas tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 4 \\
 &= 314,159 \text{ mm}^2
 \end{aligned}
 \tag{2.84}$$

Maka dipasang tulangan transversal 4D10-100

Sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 18.8.3.2 tulangan dapat dipasang setidaknya sejumlah $\frac{1}{2}$ dari kebutuhan tulangan transversal di daerah sendi plastis kolom. Tulangan transversal dipasang di daerah HBK pada setinggi balok terendah yang merangka ke HBK. Jarak tulangan transversal dapat diperbesar menjadi 150 mm.

Pengecekan Kuat Geser

Mpr atas balok SRPMK

$$\begin{aligned}
 - \quad a &= 187,83 \text{ mm} \\
 - \quad Mpr &= A_s \times (1,25 \times f_y) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 3041,061 \times (1,25 \times 420) \times \left(499 - \frac{187,83}{2}\right) \\
 &= 646.741.224,8 \text{ Nmm} \\
 &= 646,7412248 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Mpr bawah SRPMK

$$\begin{aligned}
 - a &= 93,92 \text{ mm} \\
 - M_{pr} &= A_s \times (1,25 \times f_y) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1520,530 \times (1,25 \times 420) \times \left(499 - \frac{93,92}{2}\right) \\
 &= 340.855.840 \text{ Nmm} \\
 &= 340,855840 \text{ kNm} \\
 - M_c &= \frac{1}{2} \times (M_{pr} \text{ atas} + M_{pr} \text{ bawah}) \\
 &= \frac{1}{2} \times (646,7412248 + 340,855840) \\
 &= 503,798532 \text{ kNm} \\
 - V \text{ goyang} &= \frac{(M_c + M_c)}{3,5} \\
 &= \frac{(503,798532 + 503,798532)}{3,5} \\
 &= 287,8848 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{2.85}$$

$$\tag{2.86}$$

Luas Tulangan Balok L2

$$\begin{aligned}
 - \text{Atas} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 8 \\
 &= 3041,0616 \text{ mm}^2 \\
 - \text{Bawah} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 4 \\
 &= 1520,531 \text{ mm}^2 \\
 - T1 = C1 &= 1,25 \times f_y \times A_s \\
 &= 1,25 \times 420 \times 3041,0616 \\
 &= 1596,557 \text{ kN} \\
 - T2 = C2 &= 1,25 \times f_y \times A_s \\
 &= 1,25 \times 420 \times 1520,531 \\
 &= 798,2786 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{2.87}$$

Dengan meninjau keseimbangan gaya dalam arah horizontal, maka diperoleh :

$$\begin{aligned} - V_j &= T_1 + C_2 - V_{\text{goyang}} \\ &= 1596,557 + 798,2786 - 287,8848 \\ &= 2106,9512 \text{ kN} \end{aligned} \quad (2.88)$$

$$\begin{aligned} - V_n &= \frac{(1,7 \times \sqrt{f'_c} \times A_j)}{1000} \\ &= \frac{(1,7 \times \sqrt{25} \times (600 \times 600))}{1000} \\ &= 3060 \text{ kN} \end{aligned} \quad (2.89)$$

$$\begin{aligned} - \theta V_n &= 0,85 \times V_n \\ &= 0,85 \times 3060 \\ &= 2601 \text{ kN} \end{aligned} \quad (2.90)$$

Cek syarat

$$\begin{aligned} - \theta V_n &= 2601 \\ - 2601 &> V_j (2106,9512 \text{ kN}) \Rightarrow \text{Aman} \end{aligned}$$

Sesuai SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.1 kuat geser nominal hubungan balok kolom tidak boleh melebihi $(1,7 \times \sqrt{f'_c} \times A_j)$, sehingga syarat memenuhi.

Jadi dimensi pada hubungan balok kolom telah mencukupi dan dipasang 4D10-100 mm pada daerah hubungan balok kolom.

2.9 Perancangan Pelat Lantai

Data Umum :

- f'_c = 25 Mpa
- f_y = 420 Mpa
- B = 1000 mm
- S_b = 20 mm
- E_c = $4700 \times \sqrt{f'_c}$
 $= 4700 \times \sqrt{25}$
 $= 23.500 \text{ Mpa}$
- E_s = 200.000 Mpa
- D. tul. Lentur = 10 mm
- D. tul. Susut = 10 mm

- $\Phi_{\text{pelat}} = 0,75$ (SNI 2847-2019 Tabel 21.2.1 Faktor Reduksi Kekuatan)

Mengecek Ketebalan Pelat (Pelat B)

- Dimensi Pelat = 6.000 x 4.000 mm
- Jenis Pelat $= \frac{l_y}{l_x} \leq 2$
 $= \frac{6.000}{4.000} \leq 2$
 $= 1,5 \leq 2$ maka termasuk dalam pelat 2 arah

Tinggi Minimum Balok Prategang

Balok Induk

- $h_t = \frac{l}{16}$ (SNI 2847-2019 Tabel 9.3.1.1 Tinggi Minimum Balok Prategang) $\Rightarrow$ kondisi perlekatan sederhana. (2.91)
 $= \frac{8.500}{16}$
 $= 531,25 \text{ mm}$
 $= 550 \text{ mm}$
- $b_w = \frac{2}{3} \times h_t$ (2.92)
 $= \frac{2}{3} \times 531,25$
 $= 354,167 \text{ mm}$
 $= 400 \text{ mm}$

Jadi dimensi balok induk digunakan 550 x 400 mm.

- $h_f = 140 \text{ mm}$ (asumsi)
- $h_b = h_t - h_f$
 $= 550 - 140$
 $= 410 \text{ mm}$
- $be_1 = b_w + 2h_b$
 $= 400 + (2 \times 410)$
 $= 1.220 \text{ mm}$
- $be_2 = b_w + 8h_f$
 $= 400 + (8 \times 140)$
 $= 1.520 \text{ mm}$

Dibandingkan nilai be_1 dan be_2 kemudian dipilih yang nilainya lebih kecil.

Balok Anak

$$- \quad ht = \frac{l}{18,5} \text{ (SNI 2847-2019 Tabel 9.3.1.1 Tinggi Minimum Balok$$

Prategang) => kondisi menerus satu sisi.

$$= \frac{8.500}{18,5}$$

$$= 459,45 \text{ mm}$$

$$= 500 \text{ mm}$$

$$- \quad bw = \frac{2}{3} \times ht$$

$$= \frac{2}{3} \times 459,45$$

$$= 306,3 \text{ mm}$$

$$= 350 \text{ mm}$$

Jadi dimensi balok anak digunakan 500 x 350 mm.

Inersia Balok

$$- \quad y1 = \frac{hb}{2} \quad (2.93)$$

$$= \frac{410}{2}$$

$$= 205 \text{ mm}$$

$$- \quad y2 = hb + \frac{hf}{2} \quad (2.94)$$

$$= 410 + \frac{140}{2}$$

$$= 410 + 70$$

$$= 480 \text{ mm}$$

$$- \quad y = \frac{((hb \times bw \times y1) + (hf \times be \times y2))}{((hb \times bw) + (hf \times be))} \quad (2.95)$$

$$= \frac{((410 \times 400 \times 205) + (140 \times 1.220 \times 480))}{((410 \times 400) + (140 \times 1.220))}$$

$$= 345,293 \text{ mm}$$

$$- \quad Ib = \left(\left(\left(\frac{1}{12} \right) \times bw \times hb^3 \right) + A1 \times (y - y1)^2 \right) +$$

$$\left(\left(\left(\frac{1}{12} \right) \times be \times hf^3 \right) + A2 \times (y2 - y)^2 \right) \quad (2.96)$$

$$= \left(\left(\left(\frac{1}{12} \right) \times 400 \times 410^3 \right) + (410 \times 400) \times (345,293 - 205)^2 \right) +$$

$$\left(\left(\left(\frac{1}{12} \right) \times 1.220 \times 140^3 \right) + (140 \times 1.220) \times (450 - 345,293)^2 \right)$$

$$= 8.903.541.314 \text{ mm}^4$$

$$- I_s = \left(\frac{1}{12} \right) \times l_x \times h f^3 \quad (2.97)$$

$$= \left(\frac{1}{12} \right) \times 4000 \times 140^3$$

$$= 914.666.666,7 \text{ mm}^4 \Rightarrow \text{bentang panjang}$$

$$- I_s = \left(\frac{1}{12} \right) \times l_y \times h f^3 \quad (2.98)$$

$$= \left(\frac{1}{12} \right) \times 6000 \times 140^3$$

$$= 1.372.000.000 \text{ mm}^4 \Rightarrow \text{bentang pendek}$$

$$- \alpha f1 = \frac{I_b}{I_s} \quad (2.99)$$

$$= \frac{8.903.541.314}{914.666.666,7}$$

$$= 9,734$$

$$- \alpha f2 = \frac{I_b}{I_s}$$

$$= \frac{8.903.541.314}{1.372.000.000}$$

$$= 6,490$$

$$- \alpha f_m = \frac{\alpha f1 + \alpha f2}{2} \quad (2.100)$$

$$= \frac{9,734 + 6,490}{2}$$

$$= 8,11$$

$$- \beta = \frac{I_{ny}}{I_{nx}} \quad (2.101)$$

$$= \frac{5.600}{3.600}$$

$$= 1,56$$

$$- h_{\min} = \frac{I_{ny} \times \left(0,8 + \left(\frac{f_y}{1.400} \right) \right)}{36 \times 9\beta} \quad (2.102)$$

$$= \frac{5.600 \times \left(0,8 + \left(\frac{420}{1.400} \right) \right)}{36 \times 1,56}$$

$$= 123,2 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847-2019, Tabel 8.3.1.2 tentang tebal minimum pelat apabila nilai $\alpha_{fm} > 2$ maka hitung dengan rumus yang tertera dan memilih nilai yang terbesar.

Jadi penggunaan nilai $h = 140$ mm yang tadi diasumsikan dapat digunakan karena memenuhi syarat h_{min} pada SNI.

2.9.1 Perancangan Beban Lantai

Menghitung Momen

$$\begin{aligned} \text{Jenis Pelat} &= \frac{l_y}{l_x} \leq 2 \\ &= \frac{6.000}{4.000} \leq 2 \\ &= 1,5 \leq 2 \text{ maka termasuk dalam pelat 2 arah} \end{aligned}$$

Nilai koefisien di bawah ini didapat dari PBI-1971 dengan kondisi pelat terjepit penuh pada masing-masing sisi.

$$\begin{aligned} \text{Ctx} &= 79 \\ \text{Cty} &= 57 \\ \text{Clx} &= 37 \\ \text{Cly} &= 16 \end{aligned}$$

Tabel 10 di bawah adalah tabel perhitungan beban hidup dan mati pada lantai yang digunakan untuk mencari nilai Q_{ult} .

Tabel 10 Nilai Beban Hidup dan Mati pada Lantai

BEBAN MATI (DL)				
Keterangan	Tebal (m)	Berat	Beban	Satuan
Berat sendiri pelat	0,14	24	3,36	kN/m ²
Pasir	0,05	18	0,9	kN/m ²
Ubin dan Spesi	0,05	21	1,05	kN/m ²
Plafon		0,18	0,18	kN/m ²
TOTAL DL			5,49	kN/m ²
BEBAN HIDUP (LL)				
Pasar		6	6	kN/m ²
TOTAL LL			6	kN/m ²

$$\begin{aligned} \text{Q}_{ult} &= 1,2DL + 1,6LL \\ &= 1,2 \times 5,49 + 1,6 \times 6 \end{aligned} \quad (2.103)$$

$$\begin{aligned}
 &= 16,188 \text{ kN/m}^2 \\
 - \quad M &= 0,001 \times Q_{ult} \times l x^2 \times X & (2.104) \\
 - \quad M_{tx} &= -(0,001 \times 16,188 \times 4^2 \times 79) \\
 &= -20,461632 \text{ kNm} \\
 - \quad M_{ty} &= -(0,001 \times 16,188 \times 4^2 \times 57) \\
 &= -14,763456 \text{ kNm} \\
 - \quad M_{lx} &= (0,001 \times 16,188 \times 4^2 \times 37) \\
 &= 9,583296 \text{ kNm} \\
 - \quad M_{ly} &= (0,001 \times 16,188 \times 4^2 \times 16) \\
 &= 4,144128 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

2.9.2 Perancangan Pelat 2 Arah

Menentukan Tulangan Lentur

Data Umum :

$$\begin{aligned}
 - \quad S_b &= 20 \text{ mm} \\
 - \quad D_b &= 10 \text{ mm} \\
 - \quad A_s. \text{ Tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times db^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\
 &= 78,571 \text{ mm}^2 \\
 - \quad M_{tx} &= 20,461632 \text{ kNm} \\
 - \quad M_{ty} &= 14,763456 \text{ kNm} \\
 - \quad M_{ux} &= M_{tx} \times 10^6 & (2.105) \\
 &= 20,461632 \times 10^6 \\
 &= 20.461.632 \text{ kNm} \\
 - \quad M_{uy} &= M_{ty} \times 10^6 \\
 &= 14,763456 \times 10^6 \\
 &= 14.763.456 \text{ kNm} \\
 - \quad M_{nx} &= \frac{M_{ux}}{\Phi_{pelat}} & (2.106) \\
 &= \frac{20.461.632}{0,75} \\
 &= 27.282.176 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad M_{ny} &= \frac{M_{uy}}{\phi_{pelat}} \\
 &= \frac{14.763.456}{0,75} \\
 &= 19.684.608 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Tulangan Arah X

$$\begin{aligned}
 - \quad d_x &= h_f - S_b - \frac{D_b}{2} \\
 &= 140 - 20 - \frac{10}{2} \\
 &= 115 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad R_n &= \frac{M_{ny}}{b \times d_x^2} \\
 &= \frac{19.684.608}{1.000 \times 115^2} \\
 &= 1,488
 \end{aligned} \tag{2.107}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765
 \end{aligned} \tag{2.108}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 19,765 \times 1,488}{420} \right)} \right) \\
 &= 0,00367
 \end{aligned} \tag{2.109}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad \rho_{min} &= 0,0018 \times \frac{420}{f_y} \\
 &= 0,0018 \times \frac{420}{420} \\
 &= 0,0018
 \end{aligned} \tag{2.110}$$

$$- \quad \rho \text{ pakai} = 0,00367$$

$$\begin{aligned}
 - \quad A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d_x \\
 &= 0,00367 \times 1.000 \times 115 \\
 &= 422,92 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad S \text{ (asumsi)} &= 175 \text{ mm (tercantum dalam SNI 2847-2019 pasal 7.7.2.3 tentang} \\
 &\text{spasi maksimum tidak boleh melebihi } 3h_f \text{ dan } 450\text{mm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{As pakai} &= \frac{b}{s} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times db^2 \right) \\
 &= \frac{1.000}{175} \times 78,571 \\
 &= 448,979 \text{ mm}^2
 \end{aligned}
 \tag{2.111}$$

Karena As pakai lebih besar dari As perlu maka nilai S asumsi diterima tulangan D10-175 aman digunakan untuk tulangan lentur arah X.

Tulangan Arah Y

$$\begin{aligned}
 - d_y &= hf - Sb - db - \frac{Db}{2} \\
 &= 140 - 20 - 10 - \frac{10}{2} \\
 &= 105 \text{ mm} \\
 - R_n &= \frac{M_{nx}}{b \times d_y^2} \\
 &= \frac{27.282.176}{1.000 \times 105^2} \\
 &= 2,475 \\
 - m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 - \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 19,765 \times 2,475}{420} \right)} \right) \\
 &= 0,00628 \\
 - \rho_{min} &= 0,0018 \times \frac{420}{f_y} \\
 &= 0,0018 \times \frac{420}{420} \\
 &= 0,0018 \\
 - \rho \text{ pakai} &= 0,00628 \\
 - \text{As perlu} &= \rho \times b \times d_y \\
 &= 0,00628 \times 1.000 \times 105 \\
 &= 659,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- S (asumsi) = 100 mm (tercantum dalam SNI 2847-2019 pasal 7.7.2.3 tentang spasi maksimum tidak boleh melebihi 3hf dan 450mm)
- As pakai $= \frac{b}{s} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times db^2 \right)$
 $= \frac{1.000}{100} \times 78,571$
 $= 785,714 \text{ mm}^2$

Karena As pakai lebih besar dari As perlu maka nilai S asumsi diterima dan tulangan D10-100 aman digunakan untuk tulangan lentur arah Y.

Menentukan Tulangan Susut

Data Umum :

- Sb = 20 mm
- Db = 10 mm
- As. Tulangan $= \frac{1}{4} \times \pi \times db^2$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$
 $= 78,571 \text{ mm}^2$
- Mtx = 20,461632 kNm
- Mty = 14,763456 kNm
- Mux $= Mtx \times 10^6$
 $= 20,461632 \times 10^6$
 $= 20.461.632 \text{ kNm}$
- Muy $= Mty \times 10^6$
 $= 14,763456 \times 10^6$
 $= 14.763.456 \text{ kNm}$
- Mnx $= \frac{Mux}{\phi_{pelat}}$
 $= \frac{20.461.632}{0,75}$
 $= 27.282.176 \text{ kNm}$
- Mny $= \frac{Muy}{\phi_{pelat}}$
 $= \frac{14.763.456}{0,75}$
 $= 19.684.608 \text{ kNm}$

Tulangan Arah X

- $d_x = hf - S_b - \frac{Db}{2}$
 $= 140 - 20 - \frac{10}{2}$
 $= 115 \text{ mm}$
- $R_n = \frac{M_{ny}}{b \times d_x^2}$
 $= \frac{19.684.608}{1.000 \times 115^2}$
 $= 1,488$
- $m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c}$
 $= \frac{420}{0,85 \times 25}$
 $= 19,765$
- $\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right)$
 $= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 19,765 \times 1,488}{420} \right)} \right)$
 $= 0,00367$
- $\rho_{min} = 0,0018 \times \frac{420}{f_y}$
 $= 0,0018 \times \frac{420}{420}$
 $= 0,0018$
- $\rho \text{ pakai} = 0,00367$
- $A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d_x$
 $= 0,00367 \times 1.000 \times 115$
 $= 422,92 \text{ mm}^2$
- $S \text{ (asumsi)} = 175 \text{ mm}$ (tercantum dalam SNI 2847-2019 pasal 24.4.3.3 tentang spasi maksimum tulangan susut tidak boleh melebihi $5h_f$ dan 450mm)
- $A_s \text{ pakai} = \frac{b}{S} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \right)$
 $= \frac{1.000}{175} \times 78,571$
 $= 448,979 \text{ mm}^2$

Karena As pakai lebih besar dari As perlu maka nilai S asumsi diterima dan tulangan D10-175 aman digunakan untuk tulangan susut arah X.

Tulangan Arah Y

$$\begin{aligned}
 - \quad d_y &= hf - Sb - db - \frac{Db}{2} \\
 &= 140 - 20 - 10 - \frac{10}{2} \\
 &= 105 \text{ mm} \\
 - \quad R_n &= \frac{Mnx}{b \times d_y^2} \\
 &= \frac{27.282.176}{1.000 \times 105^2} \\
 &= 2,475 \\
 - \quad m &= \frac{fy}{0,85 \times f'c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 - \quad \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{fy} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 19,765 \times 2,475}{420} \right)} \right) \\
 &= 0,00628 \\
 - \quad \rho_{min} &= 0,0018 \times \frac{420}{fy} \\
 &= 0,0018 \times \frac{420}{420} \\
 &= 0,0018 \\
 - \quad \rho \text{ pakai} &= 0,00628 \\
 - \quad \text{As perlu} &= \rho \times b \times d_y \\
 &= 0,00628 \times 1.000 \times 105 \\
 &= 659,59 \text{ mm}^2 \\
 - \quad S \text{ (asumsi)} &= 100 \text{ mm (tercantum dalam SNI 2847-2019 pasal 7.7.2.3 tentang spasi maksimum tidak boleh melebihi } 3hf \text{ dan } 450\text{mm)} \\
 - \quad \text{As pakai} &= \frac{b}{S} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times db^2 \right) \\
 &= \frac{1.000}{100} \times 78,571 \\
 &= 785,714 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena As pakai lebih besar dari As perlu maka nilai S asumsi diterima dan tulangan D10-100 aman digunakan untuk tulangan lentur arah Y.

Tabel 11 adalah rekapitulasi penulangan untuk 6 tipe pelat lantai yang dimiliki baik tulangan susut maupun lentur arah X dan Y.

Tabel 11 Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai

REKAPITULASI PELAT LANTAI							
Pelat	Tulangan	Arah	d	Mn	As perlu	As Pasang	Dipasang Tulangan
			mm	Nmm	mm	mm	
A	Lentur	X	115	11.072.592	2,339,496	314,285,714	D10-250
		Y	105	16.123.248	3,791,353	448,979,592	D10-175
	Susut	X	115	11.072.592	2,339,496	314,285,714	D10-250
		Y	105	16.123.248	3,791,353	448,979,592	D10-175
B	Lentur	X	115	19.684.608	4,229,189	448,979,592	D10-175
		Y	105	27.282.176	6,595,902	785,714,286	D10-100
	Susut	X	115	19.684.608	4,229,189	448,979,592	D10-175
		Y	105	27.282.176	6,595,902	785,714,286	D10-100
C	Lentur	X	115	19.684.608	2,339,496	285,714,286	D10-275
		Y	105	16.123.248	3,791,353	448,979,592	D10-175
	Susut	X	115	11.072.592	2,339,496	285,714,286	D10-275
		Y	105	16.123.248	3,791,353	448,979,592	D10-175
D	Lentur	X	115	19.684.608	4,229,189	448,979,592	D10-175
		Y	105	25.210.112	6,062,498	628,571,429	D10-125
	Susut	X	115	19.684.608	4,229,189	448,979,592	D10-175
		Y	105	25.210.112	6,062,498	628,571,429	D10-125
E	Lentur	X	115	11.072.592	2,339,496	314,285,714	D10-250
		Y	105	14.180.688	331,927	392,857,143	D10-200
	Susut	X	115	11.072.592	2,339,496	314,285,714	D10-250
		Y	105	14.180.688	331,927	392,857,143	D10-200
F	Lentur	X	115	19.684.608	4,229,189	448,979,592	D10-175
		Y	105	26.246.144	632,844	785,714,286	D10-100
	Susut	X	115	19.684.608	4,229,189	448,979,592	D10-175
		Y	105	26.246.144	632,844	785,714,286	D10-100

2.10 Perhitungan Beban Gempa (Badan Standardisasi Nasional 2020; Badan Standardisasi Nasional 2019b, 2019a)

Data Umum :

- Gedung 3 lantai dibangun di Kota Yogyakarta
- Tebal Pelat Lantai = 140 mm
- Mutu Beton (f'_c) = 25 MPa
- Mutu Baja (F_y) = 240 MPa
- Kategori Resiko Gedung = 2
- Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1,0

Didapatkan nilai faktor keutamaan gempa sebesar 1,0 karena bangunan yang penulis kaji merupakan pasar dan pasar termasuk bangunan dengan kategori risiko nomor II sesuai dengan SNI 1726-2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.

Parameter respon spektrum Kota Yogyakarta

- T_0 = 0,193
- T_s = 0,967
- SDS = 0,785
- SD1 = 0,762

Penentuan kelas situs tanah harus ditetapkan sesuai dengan pasal yang berlaku dalam SNI 1726-2019. Dengan diketahuinya nilai SDS dan SD1 dapat dilihat dalam tabel SNI 1726-2019 dapat disimpulkan bahwa situs kelas tanah yang terdapat pada bangunan yang akan penulis rancang berada pada Kelas D sehingga didapatkan nilai beban gempa bagi keseluruhan bangunan.

- KDS bangunan = D
- H_n = 14,4
- C_t = 0,0724 (Tabel SNI 1726-2019)
- x = 0,8 (Tabel SNI 1726-2019)
- T_a = $C_t \times H_n^x$ (2.112)
 $= 0,0724 \times 14,4^{0,8}$

$$= 0,611545197$$

- Periode fundamental Gedung (T) = 0,6115452
- Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
- Koefisien modifikasi respon (R)
- R = 8
- Cd = 5,5
- $\Omega_0 = 3$
- Cs = $\frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$ (2.113)

$$= \frac{0,785}{\left(\frac{8}{1,0}\right)}$$

$$= 0,098125$$

- Cs = $\frac{SD1}{\left(T \times \frac{R}{I_e}\right)}$ (2.114)

$$= \frac{0,762}{\left(0,6115452 \times \frac{8}{1,0}\right)}$$

$$= 0,155753001$$

- Cs min = 0,044 x SDS x Ie (2.115)
- = 0,044 x 0,785 x 1
- = 0,03454

Karena Cs min $\geq$ 0,01 maka digunakan nilai Cs 0,098125

Gaya Gempa Dasar

- V = Cs x W (2.116)
- = 0,098125 x 26828,737
- = 2632,57 kN

Berikut tabel 12 adalah rekapitulasi dari perhitungan beban tiap lantai yang didapatkan.

Beban Gempa Masing-masing Lantai

Tabel 12 Beban Gempa Tiap Lantai

Lantai	W _x (kN)	H _x (m)	W _x .(h _x ^k)	CV _x	F _x
atap	6669,977	14,4	111452,9877	0,397502	1046,4515
3	6977,85908	11,2	89424,770214	0,318937	839,62469
2	6841,95188	7,2	54995,62894	0,196144	516,36351
1	6338,94924	3,6	24510,16365	0,087417	230,13018
TOTAL			280383,5505	1	2632,5698

2.11 Perancangan Tangga

Data Umum :

- Lebar lantai = 4.000 mm
- Lebar border = 3.750 mm
- Oprade (o) = 180 mm = 0,18 m
- Antrade (a) = 250 mm = 0,25 m
- Tebal pelat = 150 mm
- Panjang border = 1.840 mm
- Tinggi atas lantai = 3.800 mm
- Jumlah (n) = 20 buah
- Berat volume beton = 24 kN/m³
- Ltg = $\left(\frac{1}{2}(n) - 1\right) \times a$
 $= \left(\frac{1}{2}(20) - 1\right) \times 250$
 $= 2.250 \text{ mm}$
- α = $\arctan \frac{o}{a}$
 $= \arctan \frac{180}{250}$

$$= \arctan(0,72)$$

$$= 35,7^\circ$$

2.11.1 Perencanaan Beban Tangga

Data Umum :

- Berat sendiri tangga $= \frac{250 \times 10^{-3}}{\cos 35,7} \times 24$
 $= \frac{0,25}{0,811536} \times 24$
 $= 7,39339 \text{ kN/m}^2$
- Berat anak tangga $= (0,5 \times 180) \times 24$
 $= 2,16 \text{ kN/m}^2$
- Berat railing $= 1,00 \text{ kN/m}^2$
- Berat ubin dan spesi $= 0,05 \times 24$
 $= 1,2 \text{ kN/m}^2$
- Beban qtg $= \text{Berat (sendiri tangga + anak tangga + railing + ubin dan spesi)}$
 $= 11,75339 \text{ kN/m}^2$

Rekapitulasi beban Qtg tangga dapat dilihat pada Tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13 Beban Qtg Tangga

Beban Qtg			
berat sendiri tangga	=	7.393389681	KN/m2
berat anak tangga	=	2.16	KN/m2
berat railing	=	1	KN/m2
berat ubin dan spesi	=	1.2	KN/m2
	Σ	11.75338968	KN/m2

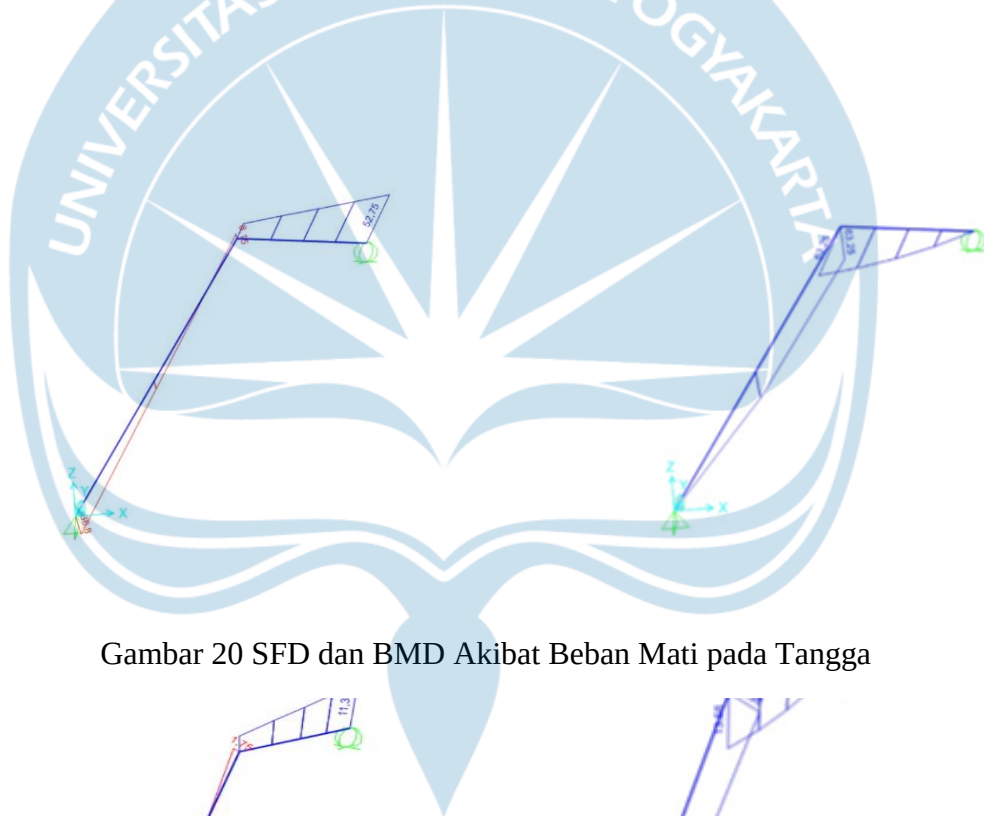
- Berat sendiri tangga $= 0,25 \times 24$
 $= 6 \text{ kN/m}^2$
- Berat anak tangga $= 0,05 \times 21$
 $= 1,05 \text{ kN/m}^2$
- Berat railing $= 1,00 \text{ kN/m}^2$
- Beban qbd $= \text{Berat (sendiri tangga + anak tangga + railing)}$
 $= 8,05 \text{ kN/m}^2$

- Beban hidup $q_n = 4,8 \text{ kN/m}$

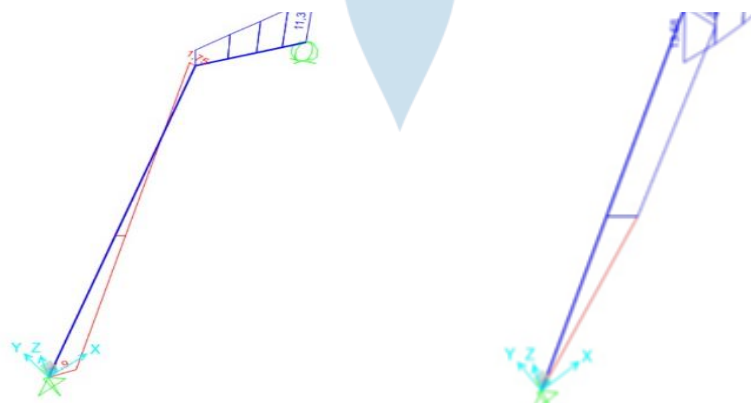
Rekapitulasi beban Qbd tangga dapat dilihat pada Tabel 14 di bawah ini, dan berikut pada Gambar 21 dan 22 merupakan respon tangga terhadap pembebanan yang dimiliki

Tabel 14 Beban Qbd Tangga

Beban Qbd				
berat sendiri tangga	=	6	KN/m ²	
berat ubin dan spesi	=	1.05	KN/m ²	
berat railing	=	1	KN/m ²	
Σ		8.05	KN/m ²	



Gambar 20 SFD dan BMD Akibat Beban Mati pada Tangga



Gambar 21 SFD dan BMD Akibat Beban Hidup pada Tangga

2.11.2 Penulangan Tangga

- Momen akibat Dead Load = $63,25 \text{ kN/m}^3$
- Momen akibat Live Load = $13,58 \text{ kN/m}^3$
- M_u = $1,4 \times \text{Dead Load}$ (2.117a)
 $= 1,4 \times 63,25$
 $= 88,55 \text{ kNm}$

- M_u = $1,2 \text{ MDL} + 1,6 \text{ MLL}$ (2.117b)
 $= (1,2 \times 63,25) + (1,6 \times 13,58)$
 $= 97,628 \text{ kNm}$

Dipilih $M_u \text{ Max} = M_{ur} = 97,628 \text{ kNm}$

- Gaya geser akibat DL = $36,8 \text{ kNm}$
- Gaya geser akibat LL = $11,33 \text{ kNm}$
- V_u = $1,4 \times \text{Dead Load}$ (2.118a)
 $= 1,4 \times 3,68$
 $= 51,52 \text{ kN/m}$

- V_u = $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$ (2.118b)
 $= (1,2 \times 36,8) + (1,6 \times 11,33)$
 $= 62,288 \text{ kN/m}$

Dipilih $V_u \text{ Max} = V_{ur} = 62,288 \text{ kN/m}$

Tumpuan

- M_{ux} = $0,5 \text{ Mur}$
 $= 0,5 \times 97,628$
 $= 48,814 \text{ kNm}$
- $\emptyset$ = $0,9$

Tulangan pokok menggunakan D-13

- F_y = 420 MPa
- F'_c = 25 MPa
- β = $0,85$
- Selimut beton = 20 mm
- h = 150 mm
- b = 1.000 mm

$$- \quad ds = h - (20 + (0,5 \times 13)) \quad (2.119)$$

$$= 150 - (20 + 6,5)$$

$$= 150 - 26,5$$

$$= 123,5 \text{ mm}$$

$$- \quad Rn \text{ perlu} = (Mux \times 10^6) / (\phi \times b \times ds^2) \quad (2.120)$$

$$= (48,814 \times 10^6) / (0,9 \times 1000 \times 123,5^2)$$

$$= 3,55605 \text{ mm}$$

$$- \quad \rho \text{ perlu} = \frac{0,85 \times f'c}{fy} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}} \right) \quad (2.121)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,55605}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,0506 \times 0,18433$$

$$= 0,00933$$

$$- \quad \rho \text{ min} = \frac{1,4}{Fy} \quad (2.122)$$

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

$$= 0,00333$$

$$- \quad \rho \text{ max} = \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{fy} \times \frac{600}{600 + fy} \quad (2.123)$$

$$= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0,01897$$

$$\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max}$$

$$- \quad \rho \text{ perlu} = 0,00933$$

$$\begin{aligned} - \quad As \text{ perlu} &= \rho \text{ perlu} \times b \times ds \\ &= 0,00933 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 1151,81 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \quad As \text{ min} &= \rho \text{ min} \times b \times ds \\ &= 0,00333 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 411,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan As perlu sebesar 1151,81 mm²

$$\begin{aligned} - \quad As \text{ pakai} &= \frac{(b \times 0,25 \times \pi \times 13^2)}{110} \\ &= 1207,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As pakai > As perlu => (Aman)

$$- \text{Spasi} = (\text{As tulangan} \times b) / \text{As perlu}$$

$$= \frac{\left(\left(\frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 13^2\right) \times 1000\right)}{1151,81}$$

$$= 115,285 \text{ mm}$$

- Maka, digunakan besi dengan diameter 13 dengan jarak 110 mm (D13-110)

Tulangan susut direncanakan menggunakan tulangan susut P8

$$- \text{As susut} = 300 \text{ mm}^2$$

$$- d_s = 25 \text{ mm}$$

$$- d_s = 125 \text{ mm}$$

$$- \text{Spasi} = \frac{\text{As Tulangan} \times b}{\text{As susut}}$$

$$= \frac{\left(\left(\frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 8^2\right) \times 1000\right)}{300}$$

$$= 167,61905 \text{ mm}$$

Maka, digunakan tulangan susut P8 dengan jarak 170 mm

Cek Geser

$$- F'_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$- b = 1.000 \text{ mm}$$

$$- d = 123,5 \text{ mm}$$

$$- V_c = \frac{\left(\frac{1}{6} \times b \times d\right) \times \sqrt{f'_c}}{1.000} \quad (2.124)$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{6} \times 1.000 \times 123,5\right) \times 5}{1.000}$$

$$= 102,91667 \text{ kN}$$

$$- \emptyset V_c = 0,75 \times V_c \quad (2.125)$$

$$= 0,75 \times 102,917$$

$$= 77,1875 \text{ kN}$$

$V_u < \emptyset V_c \Rightarrow$ (Aman, tidak perlu tulangan geser)

Lapangan

$$- M_u = 0,8 \times M_u$$

$$= 0,8 \times 97,628$$

$$= 78,1024 \text{ MPa}$$

Direncanakan menggunakan D13 dengan $F_y = 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} - D_s &= 150 - (20 + (0,5 \times 13)) \\ &= 123,5 \text{ mm} \\ - K &= \frac{Mu}{(\phi \times b \times d_s)} \end{aligned} \quad (2.126)$$

$$= \frac{78,1024 \times 10^6}{(0,9 \times 1000 \times (123,5^2))}$$

$$= 5,6896814686 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} - \rho_{\text{pelu}} &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= 0,0161124 \end{aligned} \quad (2.127)$$

$$\begin{aligned} - \rho_{\text{min}} &= 1,4 / F_y \\ &= 1,4 / 420 \\ &= 0,00333 \end{aligned} \quad (2.128)$$

$$\begin{aligned} - \rho_{\text{max}} &= \frac{0,85 \times f_c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,019 \end{aligned} \quad (2.129)$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{pelu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$\begin{aligned} - A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pelu}} \times b \times d_s \\ &= 0,0161124 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 1989,883707 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (2.130)$$

$$\begin{aligned} - S &= \frac{A_s \text{ tulangan}}{A_s \text{ perlu}} \times b \\ &= \frac{132,786}{1989,883707} \times 1000 \\ &= 66,73038922 \text{ mm} \Rightarrow 67 \text{ mm} \end{aligned} \quad (2.131)$$

Maka, digunakan tulangan dengan diameter 13 dan dengan jarak 67 mm.

Cek Geser

$$\begin{aligned} - F'_c &= 25 \text{ Mpa} \\ - b &= 1.000 \text{ mm} \\ - d &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - V_c &= \frac{\left(\frac{1}{6} \times b \times d\right) \times \sqrt{f'c}}{1000} \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{6} \times 1000 \times 123,5\right) \times 5}{1000} \\
 &= 102,91667 \text{ kN} \\
 - \phi V_c &= 0,75 \times V_c \\
 &= 0,75 \times 102,917 \\
 &= 77,1875 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_u < \phi V_c \Rightarrow (\text{Aman})$$

Pondasi Tangga

$$\begin{aligned}
 - \text{Beban DL tangga} &= 36,8 \text{ kN/m}^2 \\
 - \text{Beban LL tangga} &= 11,33 \text{ kN/m}^2 \\
 - \text{Beban dinding} &= 9,6 \text{ kN/m}^2 \\
 - \text{Beban Qtg} &= 57,73 \text{ kN/m}^2 \\
 - h \text{ pondasi} &= 0,2 \\
 - \gamma \text{ beton} &= 24 \\
 - e &= \frac{M_u \times 0,5}{Q_{tg}} \\
 &= \frac{97,628 \times 0,5}{57,73} \\
 &= 0,845556903 \\
 - \gamma \text{ tanah} &= 17 \text{ kN/m}^2 \\
 - \sigma \text{ tanah} &= 200 \text{ kN/m}^2 \\
 - d &= 1,8 \\
 - B &= 1,6 \text{ m} \\
 - \sigma \text{ Netto} &= 168 \text{ kN/m}^3 \\
 - \sigma \text{ maks} &= \left(\frac{Q_{tg}}{B}\right) + \left(\frac{6 \times Q_{tg} \times e}{B^2}\right) \quad (2.132) \\
 &= \left(\frac{57,73}{1,6}\right) + \left(\frac{6 \times 57,73 \times 0,845556903}{1,6^2}\right) \\
 &= 150,4890625 \text{ kN/m}^3 \\
 - \sigma \text{ min} &= \left(\frac{Q_{tg}}{B}\right) - \left(\frac{6 \times Q_{tg} \times e}{B^2}\right) \quad (2.133) \\
 &= \left(\frac{57,73}{1,6}\right) - \left(\frac{6 \times 57,73 \times 0,845556903}{1,6^2}\right) \\
 &= -78,3266 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Karena } \sigma \text{ maks} < \sigma \text{ Netto} \Rightarrow (\text{Aman})$$

Tegangan Terfaktor Pondasi

- DL tangga x 1,2 = 3,68 x 1,2
= 44,16 kN/m²
- LL tangga x 1,6 = 11,33 x 1,6
= 18,128 kN/m²
- Beban dinding x 1,2 = 9,6 x 1,2
= 11,52 kN/m²
- Mu = $\frac{1}{2} + \frac{(\sigma_{maks} + \sigma_{min})}{2} \left(\frac{B}{2} + e - \frac{1}{2} x btg \right)^2$ (2.134)

$$= \frac{1}{2} + \frac{(150,4890625 + (-78,3266))}{2} \left(\frac{1,6}{2} + 0,845556903 - \frac{1}{2} x 0,2 \right)^2$$

$$= 24,4605 \text{ kNm}$$
- Vu = $\frac{(\sigma_{maks} + \sigma_{min})}{2} \left(\frac{B}{2} + e - \frac{1}{2} x btg \right)^2$ (2.135)

$$= \frac{(150,4890625 + (-78,3266))}{2} \left(\frac{1,6}{2} + 0,845556903 - \frac{1}{2} x 0,2 \right)^2$$

$$= 48,92095 \text{ kN}$$
- ds = $(200 - 75 - \frac{16}{2})$
= 117 mm
- As perlu = P x d x b
= 0,00333 x 117 x 1000
= 390 mm²
- Spasi = $\frac{\text{Luas tulangan} \times b}{As \text{ perlu}}$

$$= \frac{132785,7143}{390}$$

$$= 340,476 \text{ mm} \Rightarrow 300 \text{ mm}$$

Maka, digunakan tulangan dengan diameter 13 dan dengan jarak 300 mm.

Cek Geser

- F'c = 25
- b = 1000 mm
- d = 152 mm

$$\begin{aligned}
 - V_c &= \frac{0,17 \times b \times d \times \sqrt{f'_c}}{1000} \\
 &= \frac{0,17 \times 1000 \times 117 \times 5}{1000} \\
 &= 99,45 \text{ kN} \\
 - \phi V_c &= 0,75 \times V_c \\
 &= 0,75 \times 99,45 \\
 &= 74,5875 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_u < \phi V_c \Rightarrow (\text{Aman})$$

Penulangan susut

$$\begin{aligned}
 - \rho_{\min} &= 0,0003 \\
 - a_{s \min} &= \rho_{\min} \times b \times d_s \\
 &= 0,0003 \times 1000 \times 117 \\
 &= 351 \text{ mm}^2 \\
 - \text{Spasi} &= \frac{\left(\frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \times b\right)}{a_{s \min}} \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 64 \times 1000\right)}{351} \\
 &= 143,264 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan PS P8 dengan jarak 110 mm.

Dari hasil perhitungan didapatkan rekapitulasi seperti pada Tabel 15 di bawah ini.

Tabel 15 Rekapitulasi Penulangan Tangga

Pelat	Keterangan	Sudut kemiringan	tebal pelat (mm)	Tulangan pokok terpasang	Tulangan susut terpasang
Tangga	Tumpuan	36°	250	D13-110	P8-170
Tangga	Lapangan	36°	250	D13-66	P8-170