

BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

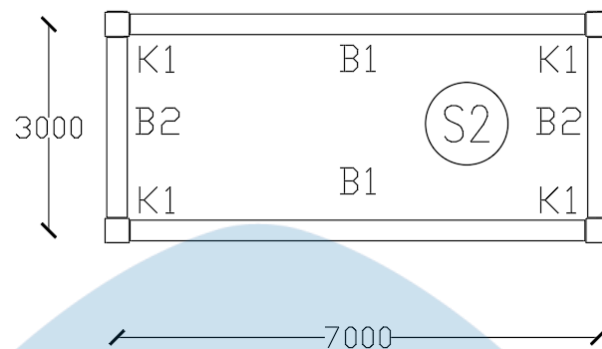
2.1 Perencanaan Sistem Struktur

Sebelum merancang sebuah struktur bangunan gedung, harus menentukan beberapa pertimbangan sistem struktur yang ada dalam panduan SNI 1726:2019. Didalam SNI tersebut untuk struktur bangunan gedung beton bertulang dijelaskan bahwa sistem Rangka Pemikul Momen (RPM) guna memikul beban-beban lateral maupun beban lainnya yang bekerja dalam struktur. Sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Fokus analisis gedung Sekolah Tani Muda, Klaten ini adalah pengecekan struktur berupa struktur beton bertulang tiap lantai dan bangunan dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), dengan KDS berkategori D.

2.2 Preliminary Design

Preliminary design harus dilakukan untuk perhitungan awal serta memberikan pedoman awal saat nanti melakukan pemodelan desain. Penulis menggunakan SNI 2847:2019 Sebagai acuan *Preliminary design* awal, dalam perancangan Sekolah Tani Muda Klaten. Sekolah Tani Muda Klaten sendiri terbagi menjadi 4 unit, yaitu bagian utama yaitu Kantor Pengelola, Kantor Penerima, Fasilitas Penunjang, dan *Greenhouse*. Dalam perhitungan *Preliminary design* di bawah ini, penulis memberikan salah satu contoh perhitungan saja. Berikut *Preliminary design* pelat, kolom, balok. Karena *Preliminary design* adalah sebuah usaha dalam menentukan kondisi awal sebuah ukuran struktur, maka perlu *trial* dan *error* agar perhitungan menjadi valid, dan tidak menutup kemungkinan untuk berubah secara terus menerus.

Apabila diketahui jenis pelat seperti pada Gambar 2.1 maka :



Gambar 2.1 Ukuran Pelat Lantai

$$L_y = 7000 \text{ mm}$$

$$L_x = 3000 \text{ mm}$$

1. Menentukan Tebal Pelat pada Lantai:

Dalam menentukan ketebalan pelat yang direncanakan, pedoman yang digunakan ada di SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1 untuk pelat satu arah dan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.2 untuk menentukan pelat dua arah. Berikut contoh perhitungannya:

a. Identifikasi Pelat

Tumpuan satu ujung menerus

$$L_y/L_x = 7000/3000 = 2,333 > 2$$

Sehingga, menggunakan pelat satu arah

b. Menentukan tebal pelat satu arah

Kondisi tumpuan satu ujung menerus

$$h = L_x/24 = 3000/24 = 125 \text{ mm} \approx 130 \text{ mm}$$

2. Menentukan Dimensi Balok:

Panjang bentang antara kolom dengan kolom lainnya, merupakan informasi yang penting dalam menentukan dimensi balok. Tinggi balok (h) ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1, lebar balok akan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1, perencanaan balok juga harus mempertimbangkan syarat pada SNI 2847:2019, Pasal 18.6.2.1. Perhitungan balok adalah sebagai berikut.

a. □ Menentukan tinggi minimum balok

$$h = 7000/16 = 437,5 \text{ mm} \approx 450 \text{ mm}$$

Menentukan lebar balok minimum

$$b = 2/3 h = 2/3 \times 450 \text{ mm} = 300 \text{ mm.}$$

Maka, untuk dimensi balok B1 digunakan ukuran 300 x 450 mm.

b. □ Menentukan tinggi minimum balok

$$h = 3000/10 = 300 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

Menentukan lebar balok minimum

$$b = 2/3 h = 2/3 \times 350 \text{ mm} = 250 \text{ mm.}$$

Maka, untuk dimensi balok B2 digunakan ukuran 250 x 350 mm.

c. □ Cek dimensi penampang kolom SRPMK

Spesifikasi Material:

Selimut Beton = 40 mm

Diameter Sengkang = D10 mm

Diameter Longitudinal = D16 mm

$$d = 450 - 40 - 10 - 16/2 = 392 \text{ mm}$$

$$1) \square L_n \geq 4d$$

$$6600 > 4(392)$$

$$6600 > 1568 \quad (\text{Aman})$$

$$2) \square B_w > 0,3h$$

$$300 > 0,3(450)$$

$$300 > 135 \quad (\text{Aman})$$

3. □ Menentukan Dimensi Kolom

Untuk menentukan dimensi kolom yang akan dirancang penulis menggunakan acuan $p = b = (2 \times 50) + b$ balok terbesar (mm) = $(2 \times 50) + 300 = 400 \text{ mm}$

Keterangan :

p = Panjang Kolom (mm)

b = Lebar Kolom (mm)

Didapatkan dimensi kolom = 400 x 400 mm, dengan cek syarat dimensi sesuai syarat kolom SRPMK sebagai berikut:

a. □ Cek dimensi penampang kolom SRPMK

1) $B \leq H$

$400 \leq 400$ (OK)

2) Perbandingan $B/H \geq 0,4$

$400/400 > 0,4$

$1 > 0,4$ (OK)

3) Perbandingan $B \geq 300$ mm

$400 \geq 300$ (OK)

Karena perhitungan *Preliminary design* keseluruhan sama dapat disimpulkan bahwa *preliminary design* Sekolah Tani Muda di Klaten sebagai berikut seperti tertera pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rekap *Preliminary Design*

Rekap Pengelola dan Penerima			Rekap <i>Greenhouse</i>			Rekap Fasilitas Penunjang		
Bentang (L) mm	Dimensi Balok		Bentang (L) mm	Dimensi Balok		Bentang (L) mm	Dimensi Balok	
	b (mm)	h (mm)		b (mm)	h (mm)		b (mm)	h (mm)
6500	300	450	6000	250	400	7000	250	450
7000	300	450	5000	250	350	5000	250	350
3000	250	350	4500	250	300	3500	250	300
5000	300	450	4000	250	300	2500	250	300

2.3 Interpretasi Data Tanah dan Pemeliharaan Kelas Situs

Perhitungan klasifikasi situs tanah berdasarkan pengolahan data N-SPT berpedoman pada rumus SNI 1726:2019 Pasal 5.4.2 dan perhitungan kuat geser niralir rata-rata (S_u) berdasarkan pada SNI yang sama. Berdasarkan perhitungan data N-SPT yang tertera pada tabel 2.2, didapatkan:

Tabel 2.2 Nilai N-SPT

Depth (m)	DB-1	di	di/Ni
2	6	2	0,333
4	6	2	0,333

Tabel 2.2 Lanjutan

Depth (m)	DB-1	di	di/Ni
6	5	2	0,4
8	5	2	0,4
10	4	2	0,5
12	3	2	0,667
14	3	2	0,667
16	4	2	0,5
18	4	2	0,5
20	5	2	0,4
22	5	2	0,4
24	4	2	0,5
26	4	2	0,5
28	5	2	0,4
30	5	2	0,4
Total		30	6,9

$N_{mean} = \frac{\sum di}{\sum (\frac{di}{Ni})} = \frac{30}{6,9} = 4,35$, maka berdasarkan Tabel 5 SNI 1726:2019, didapat:

Maka didapatkan klasifikasi situs SE/tanah lunak.

Berdasarkan perhitungan kuat geser niralir rata-rata (S_u), didapatkan:

Diketahui :

Kohesi tanah, $c = 0,13 \text{ kg/cm}^2$

Sudut geser tanah, $\phi = 5,35^\circ$

Kedalaman uji, $h = 30 \text{ m} = 3000 \text{ cm}$

$$\gamma_b = 1,17 \frac{gr}{cm^3} = 0,00117 \text{ kg/cm}^3$$

$$S = c + \gamma h \tan \phi$$

$$S = 0,13 + (0,00117) (3000) \tan 5,35$$

$$S = 0,4587 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 45,87 \text{ kPa}$$

Dari syarat yang berlaku jika nilai $S < 50$ maka merupakan kategori SE yaitu tanah lunak. (Tabel 5 SNI 1726:2019)

2.4 Penentuan Sistem Struktur

Berdasarkan kepada SNI 1726:2019 dengan mengadopsi Konsep Keselamatan Hidup. Dasar dari konsep tersebut, ketika gempa besar terjadi sesuai dengan zona gempa, kerusakan pada struktur rencana sesuai energi gempa yang terserap oleh struktur. Sehingga ketika gempa besar terjadi, kemungkinan terjadi kerusakan pada struktur akibat gempa. Tetapi bangunan tidak boleh runtuh untuk persiapan proses evakuasi. Maka diperlukan penentuan parameter tambahan sebagai penambah data beban gempa juga dan parameter lainnya, sebagai berikut:

1. ☐ Penentuan Kategori Risiko

Tabel 2.3 Kategori Risiko Gedung

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

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 3 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa yang tertera pada tabel 2.3 di atas, bangunan Sekolah Tani Muda di Klaten termasuk pada kategori risiko II. Hal

ini dikarenakan bangunan ini merupakan gedung perkantoran di kawasan sekolah.

2. □ Penentuan Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 4 - Faktor Keutamaan Gempa yang tertera pada tabel 2.4 di atas, bangunan Sekolah Tani Muda di Klaten terutama pada Kantor Pengelola dan Penerima termasuk ke dalam kategori risiko II, maka faktor keutamaan gempa pada bangunan tersebut yaitu 1,0.

3. □ Penentuan Klasifikasi Situs

Tabel 2.5 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralis $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah pada bangunan Sekolah Tani Muda di Klaten didapatkan bahwa klasifikasi situsnya termasuk ke dalam kelas situs SE (Tanah Lunak) sesuai tabel 2.5 yang tertera di atas.

4. □ Penentuan Parameter Respon Spektra

Nama Kota : Klaten

Bujur / Longitude : 110.70639088916579 Degrees

Lintang / Latitude : -7.783400714141579 Degrees

Kelas Situs : SE - Tanah Lunak

PGA = 0.443829 g

PGAm = 0.582455 g

CRs = 0.000000

CR1 = 0.000000

Ss = 1.015543 g

S1 = 0.469865 g

TL = 20.000000 detik

Fa = 1.087566

Fv = 2.260269

Sms = 1.104470 g

Sm1 = 1.062022 g

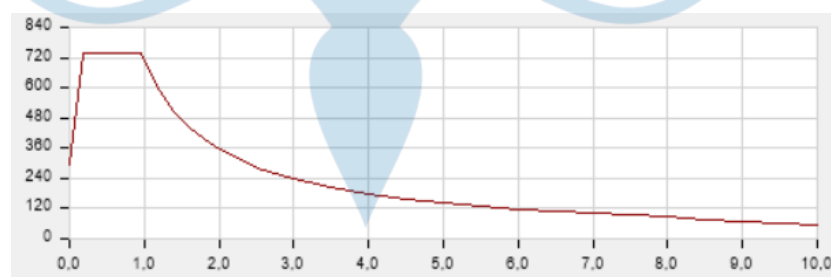
Sds = 0.736313 g

Sd1 = 0.708015 g

T0 = 0.192314 detik

Ts = 0.961568 detik

Berikut adaalah grafik respons spektrum dari data-data di atas yang tertera pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Grafik Respons Spektrum

5. □ Penentuan Periode Fundamental Gedung

Tabel 2.6 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

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

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 18 – Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x yang tertera pada tabel 2.6, tipe struktur pada bangunan Sekolah Tani Muda Klaten yaitu rangka beton pemikul beton dengan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$. Penentuan parameter tersebut digunakan untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dan ketinggian total struktur (h_n), harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x$$

6. □ Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS)

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik

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

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 8 – Kategori Desain Seismik yang tertera pada tabel 2.7, dengan $S_{DS} = 0,736313$ g dan termasuk kategori resiko IV. Maka, kategori desain seismik pada bangunan Sekolah Tani Muda Klaten adalah D.

7. □ Penentuan Koefisien Modifikasi Respons (R)

Tabel 2.8 Faktor R, C_d , dan Ω_o untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_o^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 12 - Faktor R, C_d , dan Ω_o untuk sistem pemikul gaya seismik yang tertera pada tabel 2.8, sistem pemikul gaya seismik bangunan Sekolah Tani Muda Klaten adalah rangka beton bertulang pemikul momen khusus, sehingga nilai $R = 8$, $\Omega_o = 3$, dan $C_d = 5,5$.

2.5 Perencanaan Pembebanan Struktur

Perencanaan pembebanan struktur diperlukan guna menentukan beban yang akan bekerja saat gempa terjadi nanti, dan perhitungan beban struktur pada tiap lantai berguna untuk mendapatkan gaya geser seismik saat terjadi gempa. Tentu pedoman yang digunakan adalah SNI 1726:2019.

Nilai periode fundamental awal struktur gedung (T_a) yang didapat dari hasil analisis model program struktur harus dibatasi dan tidak boleh melebihi koefisien batas atas yang dihitung atau C_u . Berdasarkan SNI 1726:2019, periode fundamental struktur harus ditentukan dari rumus berikut :

$$T_{a-EQx} = C_{t-EQx} \times h n^x$$

$$T_{a-EQy} = C_{t-EQy} \times h n^x$$

Setelah menemukan periode fundamental (T_a), harus menghitung nilai (K), eksponen yang terkait dengan periode struktur menggunakan rumus SNI 1726:2019 di keterangan pasal 7.8.3, sebagai berikut:

$$1. \square T \leq 0,5 \text{ detik, } K = 1$$

$$2. \square T \geq 2,5 \text{ detik, } K = 2$$

$$3. \square 0,5 < T < 2,5 \text{ detik, } K = 0,5T + 0,75$$

Mendapatkan beberapa parameter diatas, gaya geser dasar seismik (V), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan di dalam SNI 1726:2019

Pasal 7.8.1, dengan koefisien respons seismik (C_s), dan berat seismik efektif (W), sebagai berikut:

$$V_x = V_y = C_s W$$

Setelah semua parameter didapatkan, gaya seismik lateral, F_x , (kN) di masing-masing tingkat harus ditentukan dari persamaan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3, dengan menentukan nilai faktor distribusi vertikal (C_{vx}) sebagai berikut :

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

Setelah menemukan nilai faktor distribusi vertikal, kemudian dapat menghitung gaya seismik lateral, F_x , sebagai berikut:

$$F_x = C_{vx} V$$

Berikut perhitungan untuk tiap bangunan yang ada di dalam wilayah proyek:

A. Kantor Pengelola

- Berat satuan lantai atap

Berat sendiri pelat	= 0 kN/m ²
Waterproofing	= 0 kN/m ²
Plafon, MEP, dll	= 0,222 kN/m ²
DL	= 0,222 kN/m ²

- Berat satuan lantai

Berat sendiri pelat	= 3,12 kN/m ²
Pasir	= 0,7 kN/m ²
Spesi	= 0,0042 kN/m ²
Keramik	= 0,2691 kN/m ²
Plafon, MEP, dll	= 0,222 kN/m ²
DL	= 4,3153 kN/m ²

- Data Balok

Berat Balok	= $B \times (H - \text{tebal pelat}) \times \text{bj. beton}$
B1 300 × 450	= 2,304 kN/m

$$\text{BA1 } 250 \times 350 = 1,32 \text{ kN/m}$$

$$\text{BA2 } 250 \times 450 = 1,92 \text{ kN/m}$$

• Data Kolom

$$\text{K1 } 400 \times 400 = 3,84 \text{ kN/m}$$

• Beban kuda-kuda = 39,52 kN

• Elemen dinding+plester = 2,71 kN/m²

• Berat lantai 1 + setengah lantai 2

➤ □ Pelat lantai = $626 \times 4,32 = 2701,3778 \text{ kN}$

➤ □ Balok $300 \times 450 = 306 \times 2,304 = 705,024 \text{ kN}$

➤ □ Balok $250 \times 350 = 51 \times 1,32 = 67,32 \text{ kN}$

➤ □ Balok $250 \times 450 = 122 \times 1,92 = 234,24 \text{ kN}$

➤ □ Kolom $400 \times 400 = 189 \times 3,84 = 725,76 \text{ kN}$

➤ □ Dinding bata merah = $644 \times 2,71 = 1745,24 \text{ kN}$

W1 = 6178,9618 kN

• Berat lantai atap + setengah lantai 2

➤ □ RB1 $300 \times 450 = 272 \times 2,304 = 626,688 \text{ kN}$

➤ □ RB2 $250 \times 350 = 24 \times 1,32 = 31,68 \text{ kN}$

➤ □ Kolom $400 \times 400 = 81 \times 3,84 = 311,04 \text{ kN}$

➤ □ Beban Atap = $18 \times 39,52 = 711,36 \text{ kN}$

➤ □ Dinding bata merah = $186,75 \times 2,71 = 506,093 \text{ kN}$

➤ □ Dinding gunungan = $93,5 \times 2,71 = 253,385 \text{ kN}$

W2 = 2440,246 kN

• Nilai T

$$T_a = 0,0466 \times 7^{0,9} = 0,269$$

• Nilai K

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

$$= 0,5 \times 0,269 + 0,75$$

$$= 0,8843$$

- Nilai V (Base shear)

$$\begin{aligned}
 V_x &= V_y = C_s W \\
 &= 0,092 \times 8619,207 \\
 &= 793,304 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 2.9 Pembebanan Struktur Kantor Pengelola Arah-X

Lantai	Wx	Hx	Wx. Hx ^k	Cv	Fx
	kN	m	kNm		kN
Atap	2440,246	1,75	4002,6	0,1301	103,17
1	6178,962	5,25	26774,6	0,8700	690,134
Σ	8619,2073	-	30777,202	-	793,304

Tabel 2.10 Pembebanan Struktur Kantor Pengelola Arah-Y

Lantai	Wy	Hy	Wy. Hy ^k	Cv	Fy
	kN	m	kNm		kN
Atap	2440,246	1,75	4002,6	0,1301	103,17
1	6178,962	5,25	26774,6	0,8700	690,134
Σ	8619,2073	-	30777,202	-	793,304

B. Kantor Penerima

- Berat satuan lantai atap

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri pelat} &= 0 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Waterproofing} &= 0 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Plafon, MEP, dll} &= 0,222 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{DL} &= 0,222 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- Data Balok

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok} &= B \times (H - \text{tebal pelat}) \times b_j. \text{ beton} \\
 \text{B1 } 300 \times 450 &= 3,24 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Data Kolom

$$\text{K1 } 300 \times 300 = 2,16 \text{ kN/m}$$

- Beban kuda-kuda = 35,24 kN

• Elemen dinding+plester = 2,71 kN/m²

• Berat lantai 1

- □ Balok 300×450 = $99 \times 3,24$ = 320,76 kN
- □ Kolom 300×300 = $70 \times 2,16$ = 151,2 kN
- □ Dinding bata merah = $99 \times 2,71$ = 268,29 kN
- □ Dinding Gunungan = $75 \times 2,71$ = 203,25 kN
- □ Beban Atap = $12 \times 35,24$ = 422,88 kN
- W1 = 1366,38 kN

• Nilai T

$$T_a = 0,0466 \times 4^{0,9} = 0,1623$$

• Nilai K

$$\begin{aligned} K &= 0,5T + 0,75 \\ &= 0,5 \times 0,1623 + 0,75 \\ &= 0,8311 \end{aligned}$$

• Nilai V (Base sehar)

$$\begin{aligned} V_x &= V_y = C_s W \\ &= 0,092 \times 1366,38 \\ &= 125,7604 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 2.11 Pembebanan Struktur Kantor Penerima Arah-X

Lantai	W _x	H _x	W _x · H _x ^k	C _v	F _x
	kN	m	kNm		kN
1	1366,38	4	4324,79	1	125,76
Σ	1366,38	-	4324,79	-	125,76

Tabel 2.12 Pembebanan Struktur Kantor Penerima Arah-Y

Lantai	Wy	Hy	Wy. Hy ^k	Cv	Fy
	kN	m	kNm		kN
1	1366,38	4	4324,79	1	125,76
Σ	1366,38	-	4324,79	-	125,76

C. Greenhouse

- Berat satuan lantai atap

Berat sendiri pelat = 0 kN/m²

Waterproofing = 0 kN/m²

Plafon, MEP, dll = 0,222 kN/m²

DL = 0,222 kN/m²

- Data Balok

Berat Balok = $B \times (H - \text{tebal pelat}) \times b_j. \text{beton}$

B1 250 × 350 = 2,1 kN/m

B2 WF 150×150×7×10 = 0,31 kN/m

- Data Kolom

K1 300 × 300 = 2,16 kN/m

K2 WF 200×200×8×12 = 0,49 kN/m

- Beban kuda-kuda = 20,42 kN

- Elemen dinding+plester = 2,71 kN/m²

- Partisi Polycarbonate = 0,011 kN/m²

- Berat lantai 1

➤ □ RB 250 × 350 = 88 × 2,1 = 184,8 kN

➤ □ WF 150×150×7×10 = 42 × 0,31 = 13,02 kN

➤ □ Kolom 300 × 300 = 70,4 × 2,16 = 152,064 kN

➤ □ WF 200×200×8×12 = 15 × 0,49 = 7,35 kN

➤ □ Dinding bata merah = 88 × 2,71 = 238,48 kN

➤ □ Dinding Gunungan = 39 × 2,71 = 105,69 kN

➤ □ Partisi Polycarbonate = 147 × 0,011 = 1,617 kN

➤ □ Beban Atap = 12 × 20,42 = 245,04 kN

$$\begin{aligned} \text{Sloof} &= 130 \times 2,1 = 273 \text{ kN} \\ W1 &= 1221,061 \text{ kN} \end{aligned}$$

• Nilai T

$$T_a = 0,0466 \times 4^{0,9} = 0,1439$$

• Nilai K

$$\begin{aligned} K &= 0,5T + 0,75 \\ &= 0,5 \times 0,1439 + 0,75 \\ &= 0,822 \end{aligned}$$

• Nilai V (Base sehar)

$$\begin{aligned} V_x = V_y &= C_s W \\ &= 0,092 \times 1221,061 \\ &= 112,385 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 2.13 Pembebanan Struktur *Greenhouse* Arah-X

Lantai	Wx	Hx	Wx. Hx ^k	Cv	Fx
	kN	m	kNm		kN
1	1221,061	3,5	3419,266	1	112,385
Σ	1221,061	-	3419,266	-	112,385

Tabel 2.14 Pembebanan Struktur *Greenhouse* Arah-Y

Lantai	Wy	Hy	Wy. Hy ^k	Cv	Fy
	kN	m	kNm		kN
1	1221,061	3,5	3419,266	1	112,385
Σ	1221,061	-	3419,266	-	112,385

D. Fasilitas Penunjang

• Berat satuan lantai atap

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

$$\text{Waterproofing} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Plafon, MEP, dll} = 0,222 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{DL} = 3,342 \text{ kN/m}^2$$

• Data Balok

$$\text{Berat Balok} = B \times (H - \text{tebal pelat}) \times b_j. \text{beton}$$

$$B1 \ 250 \times 450 = 1,92 \text{ kN/m}$$

$$B2 \ 250 \times 350 = 1,32 \text{ kN/m}$$

$$B3 \ 250 \times 300 = 1,02 \text{ kN/m}$$

$$B1A \ 250 \times 450 = 2,7 \text{ kN/m}$$

$$B2A \ 250 \times 350 = 2,1 \text{ kN/m}$$

• Data Kolom

$$K1 \ 300 \times 300 = 2,16 \text{ kN/m}$$

• Beban kuda-kuda 1 = 14,35 kN

• Beban kuda-kuda 2 = 14,5 kN

• Elemen dinding+plester = 2,71 kN/m²

• Berat lantai Atap

➤ □ Pelat Dak 130 mm = $136 \times 3,342$ = 454,512 kN

➤ □ B1 250 × 450 = $21 \times 1,92$ = 40,32 kN

➤ □ B2 250 × 350 = $105 \times 1,32$ = 138,6 kN

➤ □ B3 250 × 300 = $42 \times 1,02$ = 42,84 kN

➤ □ K1 300 × 300 = $46,5 \times 2,16$ = 100,44 kN

➤ □ Dinding bata merah = $71 \times 2,71$ = 288,615 kN

W2 = 1065,327 kN

• Berat lantai 1

➤ □ B1A 250 × 450 = $14 \times 2,7$ = 37,8 kN

➤ □ B2A 250 × 350 = $80 \times 2,1$ = 168 kN

➤ □ Gunungan A1 = $33 \times 2,71$ = 89,43 kN

➤ □ Gunungan A2 = $17,5 \times 2,71$ = 47,43 kN

➤ □ Beban Atap A1 = $2 \times 14,35$ = 28,7 kN

➤ □ Beban Atap A2 = $2 \times 14,5$ = 29 kN

➤ □ K1 300 × 300 = $11,1 \times 2,16$ = 23,976 kN

W1 = 424,331 kN

- Nilai T

$$T_a = 0,0466 \times 3,5^{0,9} = 0,1439$$

- Nilai K

$$\begin{aligned} K &= 0,5T + 0,75 \\ &= 0,5 \times 0,1439 + 0,75 \\ &= 0,82195 \end{aligned}$$

- Nilai V (Base sehar)

$$\begin{aligned} V_x &= V_y = C_s W \\ &= 0,092 \times 1489,658 \\ &= 137,107 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 2.15 Pembebanan Struktur Fasilitas Penunjang Arah-X

Lantai	W _x kN	H _x m	W _x · H _x ^k kNm	C _v	F _x kN
2	424,331	3,5	1188,229	0,311	42,688
1	1065,327	3	2628,159	0,689	94,419
Σ	1489,658	-	3816,389	-	137,107

Tabel 2.16 Pembebanan Struktur Fasilitas Penunjang Arah-Y

Lantai	W _y kN	H _y m	W _y · H _y ^k kNm	C _v	F _y kN
2	424,331	3,5	1188,229	0,311	42,688
1	1065,327	3	2628,159	0,689	94,419
Σ	1489,658	-	3816,389	-	137,107

2.6 Pemodelan Struktur

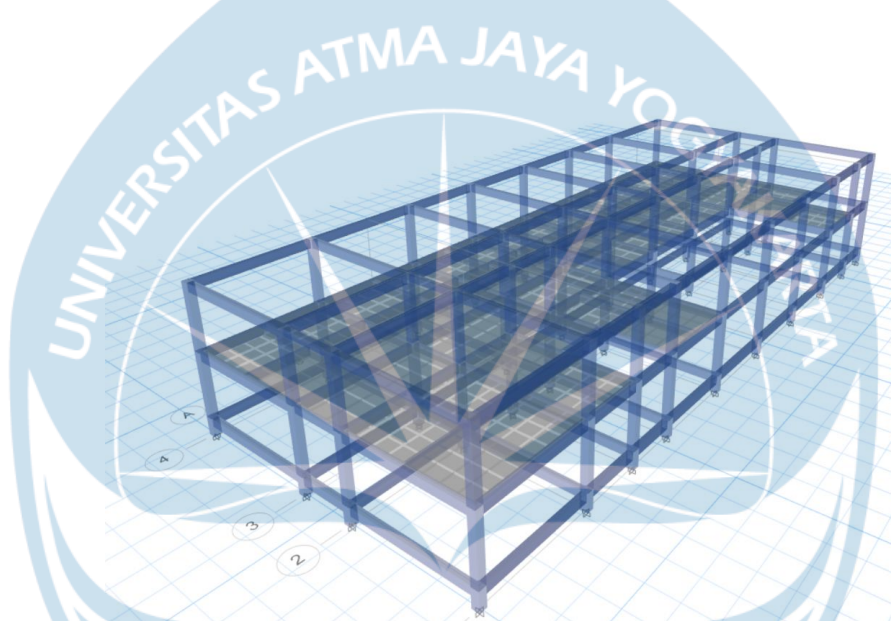
Pemodelan struktur menggunakan bantuan *software* ETABS, dalam pemodelan struktur gedung kantor pengelola, penerima, *Greenhouse*, dan Fasilitas penunjang terdiri dari rangka beton, pelat beton, dan pemodelan Atap baja yang dimodelkan secara terpisah. Bangunan-bangunan tersebut diidealkan dan dimodelkan sebagai sistem rangka tiga dimensi dan elemen pelat, serta struktur beton bertulang tiap lantai dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), berikut adalah data visual *modeling* menggunakan *software*.

Data-data:

1. $\square$ Mutu beton $f'_c = 25 \text{ Mpa}$
2. $\square$ F_y tulangan = 420 Mpa ; $F_u = 560 \text{ MPa}$
3. $\square$ F_y sengkang = 280 Mpa ; $F_u = 430 \text{ Mpa}$

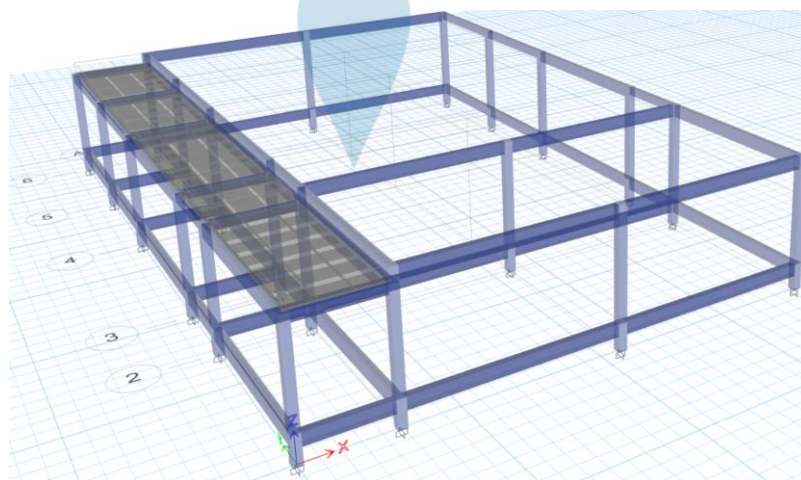
Berikut ini adalah gambar 2.3, 2.4, 2.5, dan 2.6 pemodelan 3D dalam *software*:

A. Kantor Pengelola



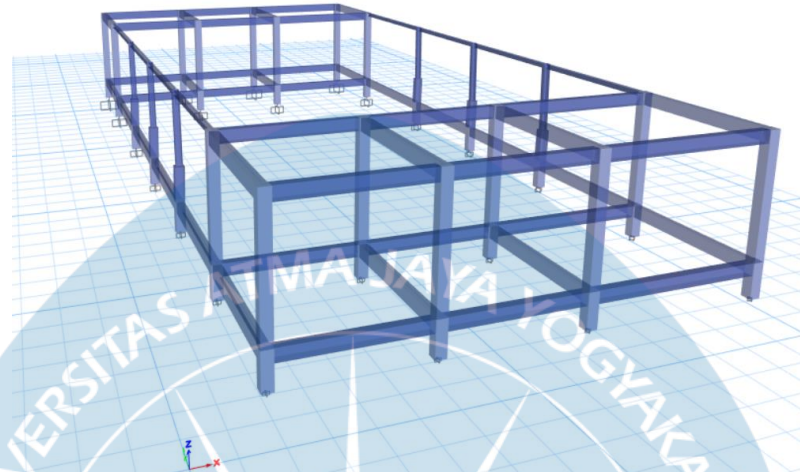
Gambar 2.3 Pemodelan 3D Kantor Pengelola

B. Kantor Penerima



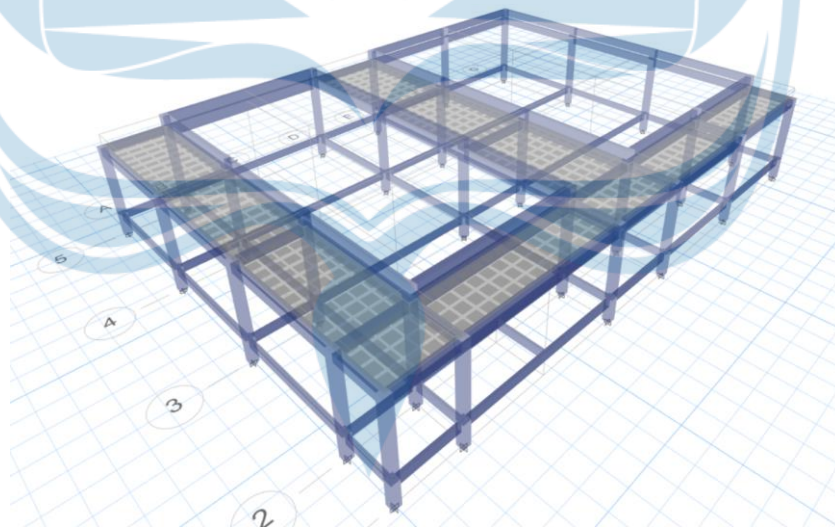
Gambar 2.4 Pemodelan 3D Kantor Penerima

C. Greenhouse



Gambar 2.5 Pemodelan 3D Greenhouse

D. Fasilitas Penunjang



Gambar 2.6 Pemodelan 3D Kantor Pengelola

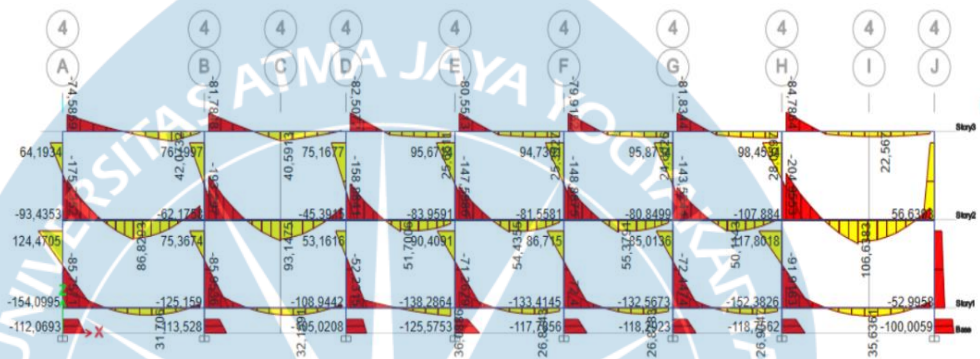
2.7 Interpretasi Output Pemodelan

Setelah melakukan pemodelan struktur selesai, dan dinyatakan bahwa perilaku struktur normal, maka hal yang perlu dilakukan adalah menganalisis struktur tersebut, dengan mengeluarkan gaya-gaya dalam balok-kolom, pelat, dll. Tentu juga hal

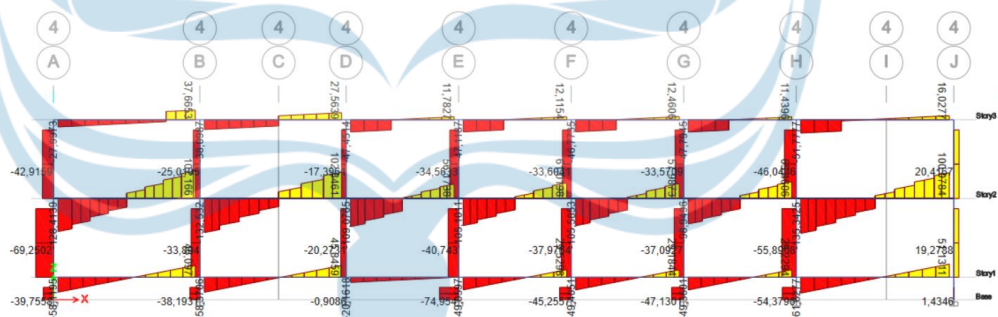
tersebut berhubungan dengan reaksi BMD (*Bending Moment Diagram*) dan SFD (*Shear Force Diagram*).

A. Kantor Pengelola

Untuk mendapatkan gaya yang akan digunakan dalam perancangan, maka perlu untuk mengambil gaya terbesar dari setiap balok dan kolom. Berikut adalah gambar 2.7 dan 2.8 tentang diagram BMD dan SFD dari Gedung Kantor Pengelola.



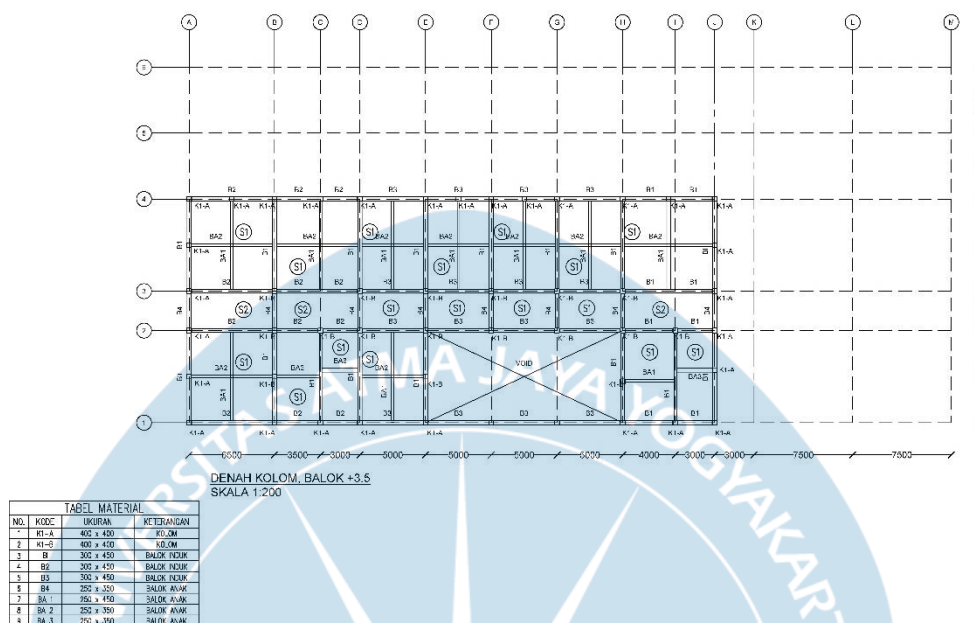
Gambar 2.7 BMD Kantor Pengelola



Gambar 2.8 SFD Kantor Pengelola

Pengambilan gaya-gaya dalam dari hasil ETABS, didapatkan gaya-gaya dalam balok anak, balok induk, dan kolom dari Kantor Pengelola yang akan digunakan dalam perancangan pada tabel 2.17, 2.18, dan 2.19. Berikut adalah hasil rekapitulasi gaya dalam balok anak, balok induk, dan kolom kantor pengelola sesuai dengan

denah struktur Kantor Pengelola pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Denah struktur Balok & Kolom Kantor Pengelola +3.5m

Tabel 2.17 Gaya Dalam Balok Anak Kantor Pengelola

Kondisi	BA 1 250x450	BA 2 250x350	BA 3 250x350
Vu Tumpuan - (kN)	126,3295	96,4453	58,1326
Vu Lapangan + (kN)	87,9913	94,9299	65,4649
Mu tumpuan - (kNm)	-164,4261	-95,3947	-63,501
Mu lapangan + (kNm)	94,6	44,239	27,503

Tabel 2.18 Gaya Dalam Balok Induk Kantor Pengelola

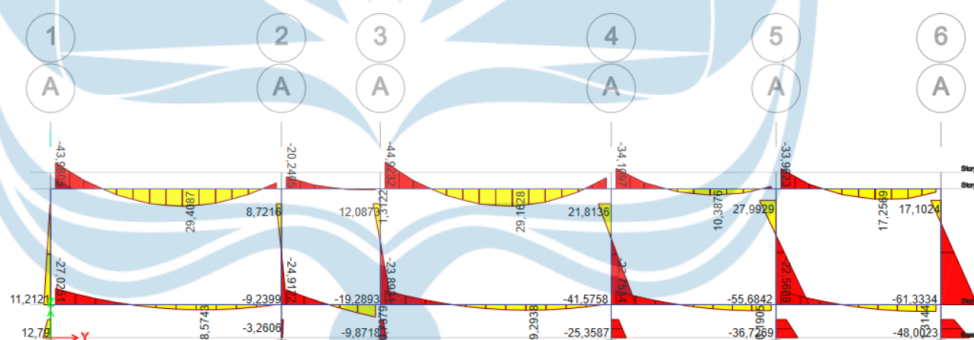
Posisi	Kondisi	B1 300x450	B2 300x450	B3 300x450	B4 250x350	RB 300x450
Tumpuan	Mu+ (kNm)	176,8326	87,6435	88,2585	78,8006	95,7885
	Mu- (kNm)	-236,6196	-201,6829	-129,8032	-97,0708	-104,981
	Vu (kN)	-188,5416	181,9622	-132,0632	96,9656	84,8517
	Vg_ki (kN)	149,3432	140,7079	109,6479	27,4519	27,2592
	Vg_ka (kN)	141,5332	154,261	109,553	40,0348	25,1189
Lapangan	Mu+ (kNm)	190,6133	121,7818	86,1672	35,3723	83,8443
	Mu- (kNm)	-206,1465	-110,8388	-116,274	-28,6305	-100,2858
	Vu (kN)	177,9633	112,4448	122,7912	86,9158	-82,7024

Tabel 2.19 Gaya Dalam Kolom Kantor Pengelola

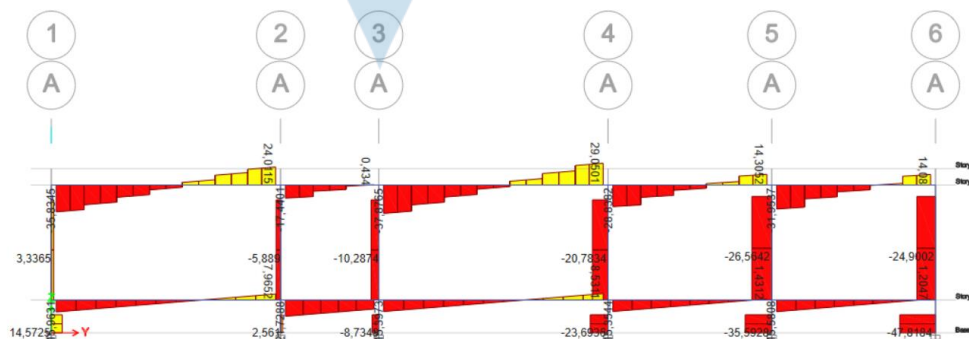
Loc	K1-A			K1-B		
	Pu	M2 (Y)	M3 (X)	Pu	M2 (Y)	M3 (X)
	kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm
Pu Max	-453,6841	101,7114	112,1709	-453,6841	101,7114	112,1709
Pu Min	41,8918	-87,1634	-52,405	41,8918	-87,1634	-52,405
M2 Max	-28,1798	267,2149	27,3685	-28,1798	267,2149	27,3685
M2 Min	-271,5016	-271,073	48,0297	-271,5016	-271,073	48,0297
M3 Max	-194,8641	-31,3342	138,5858	-194,8641	-31,3342	138,5858
M3 Min	-118,3376	17,3893	-136,581	-118,3376	17,3893	-136,581

B. Kantor Penerima

Untuk mendapatkan gaya yang akan digunakan dalam perancangan, maka perlu untuk mengambil gaya terbesar dari setiap balok dan kolom. Berikut adalah diagram BMD dan SFD dari Gedung Kantor Penerima yang tertera pada gambar 2.10 dan 2.11.

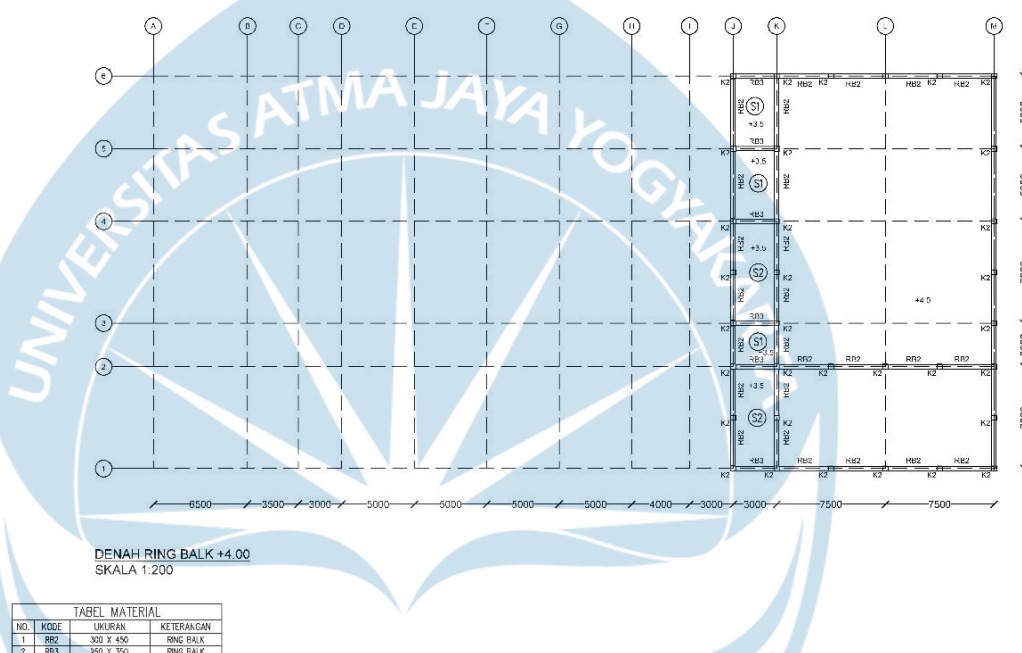


Gambar 2.10 BMD Kantor Penerima



Gambar 2.11 SFD Kantor Penerima

Pengambilan gaya-gaya dalam dari hasil ETABS, didapatkan gaya-gaya dalam balok anak, balok induk, dan kolom dari Kantor Penerima yang akan digunakan dalam perancangan. Berikut adalah hasil rekapitulasi gaya dalam balok anak, balok induk, dan kolom kantor Penerima yang tertera pada tabel 2.20 dan 2.21 sesuai dengan denah Kantor Penerima yang tertera pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Denah struktur Balok & Kolom Kantor Penerima +4.0 m

Tabel 2.20 Gaya Dalam Balok Induk Kantor Penerima

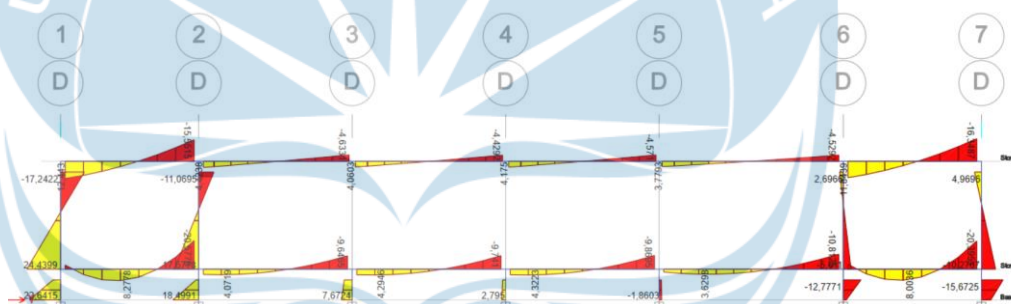
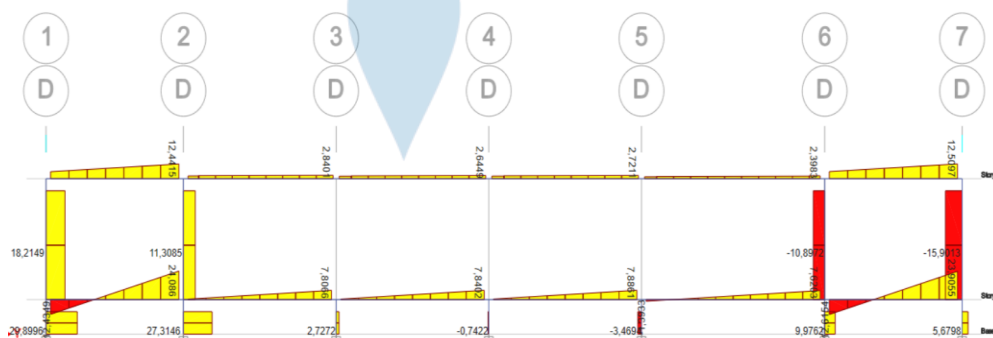
Posisi	Kondisi	RB2 300x450	RB3 250x350
Tumpuan	Mu+ (kNm)	95,7885	10,2843
	Mu- (kNm)	-150,4447	-3,213
	Vu (kN)	-85,2347	-24,7887
	Vg_ki (kN)	54,9144	11,2024
	Vg_ka (kN)	54,0413	10,3085
Lapangan	Mu+ (kNm)	83,8443	20,0669
	Mu- (kNm)	-40,3748	-6,7063
	Vu (kN)	-57,501	-22,4276

Tabel 2.21 Gaya Dalam Kolom Kantor Penerima

Loc	K2		
	Pu	M2 (Y)	M3 (X)
	kN	kNm	kNm
Pu Max	-100,9538	101,5373	-72,5303
Pu Min	-21,2462	-28,2137	29,4555
M2 Max	-100,9538	101,5373	-72,5303
M2 Min	-50,1494	-94,6527	107,2356
M3 Max	-81,8687	-76,4165	128,4851
M3 Min	-71,726	59,4745	-100,6497

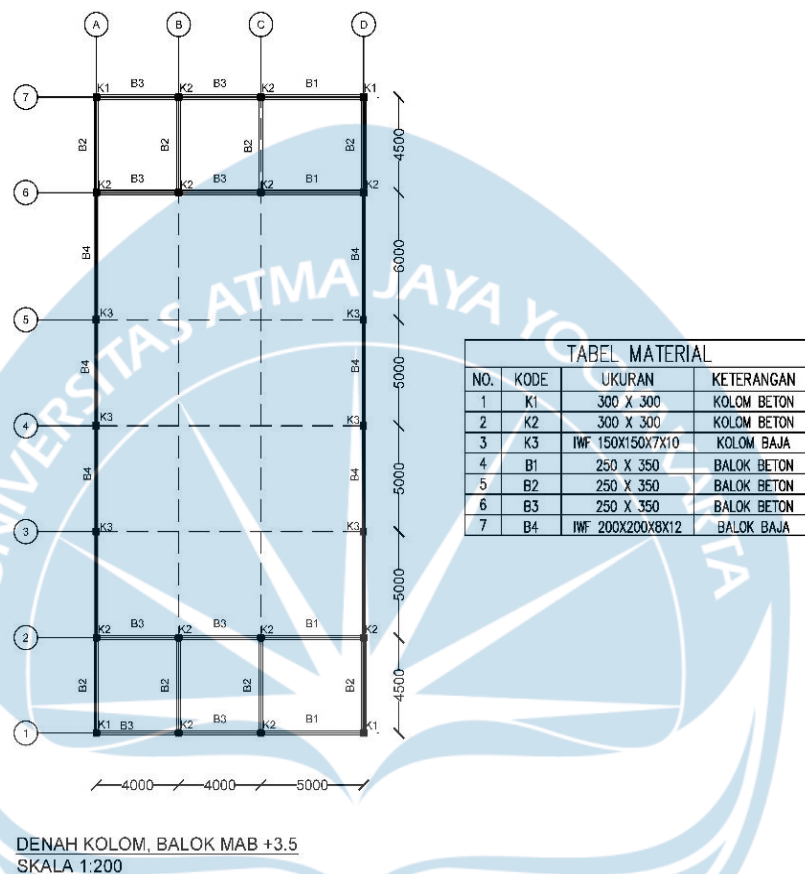
C. Greenhouse

Untuk mendapatkan gaya yang akan digunakan dalam perancangan, maka perlu untuk mengambil gaya terbesar dari setiap balok dan kolom. Berikut adalah gambar 2.13 dan 2.14 yang menunjukkan diagram BMD dan SFD dari *Greenhouse*.

Gambar 2.13 BMD *Greenhouse*Gambar 2.14 SFD *Greenhouse*

Pengambilan gaya-gaya dalam dari hasil ETABS, didapatkan gaya-gaya dalam balok anak, balok induk, dan kolom dari *Greenhouse* yang akan digunakan dalam perancangan. Berikut adalah hasil rekapitulasi gaya dalam balok anak, balok induk,

dan kolom Greenhouse yang tertera pada tabel 2.22 dan 2.23 sesuai denah struktur yang tertera pda gambar 2.15.



Gambar 2.15 Denah struktur Balok & Kolom Greenhouse +3.5m

Tabel 2.22 Gaya Dalam Balok Induk Greenhouse

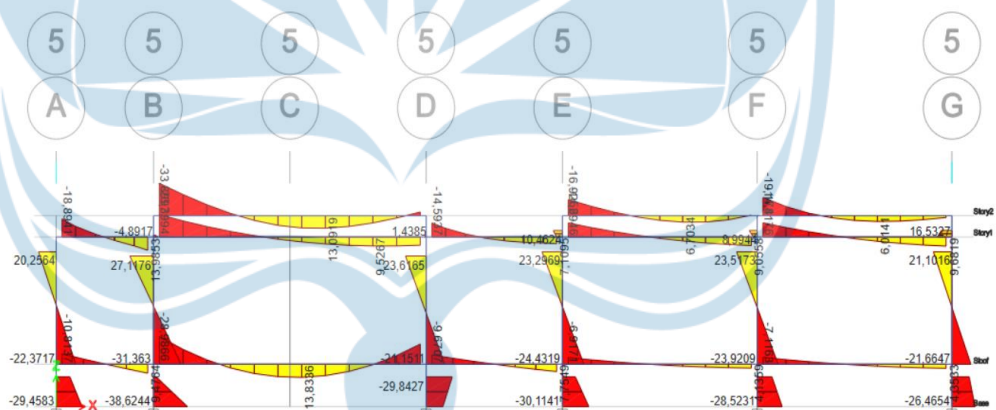
Posisi	Kondisi	B1 250x350	B2 250x350	B3 250x350
Tumpuan	Mu+ (kNm)	26,9696	17,9699	33,946
	Mu- (kNm)	-42,2513	-23,3188	-41,6531
	Vu (kN)	33,4788	15,0964	38,2602
	Vg_ki (kN)	-18,7107	-5,2438	18,651
	Vg_ka (kN)	10,5538	5,2471	21,0887
Lapangan	Mu+ (kNm)	20,029	10,3375	19,4496
	Mu- (kNm)	-15,2287	-7,908	-15,7241
	Vu (kN)	21,7751	11,7631	25,2079

Tabel 2.23 Gaya Dalam Kolom *Greenhouse*

Kondisi	K1 300x300		
	Interior	Terluar	Tepi
Pu max (kN)	-34,3409	-73,856	-38,2251
Pu min (kN)	-4,2202	-29,9472	5,6251
Mux max (kNm)	-34,3409	-64,8561	-9,9439
Mux min (kNm)	-25,341	-73,856	-0,944
Muy max (kNm)	-22,0022	-34,9756	0,5967
Muy min (kNm)	-21,5872	-73,856	-38,2251

D. Fasilitas Penunjang

Untuk mendapatkan gaya yang akan digunakan dalam perancangan, maka perlu untuk mengambil gaya terbesar dari setiap balok dan kolom. Berikut adalah gambar 2.16 dan 2.17 yang menunjukkan diagram BMD dan SFD dari Fasilitas Penunjang.

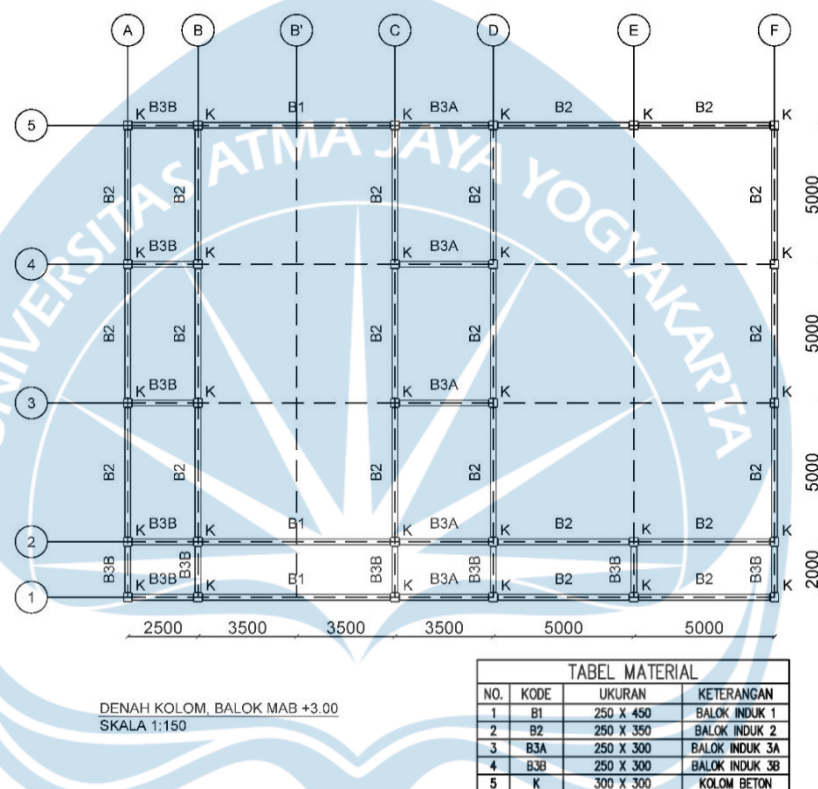


Gambar 2.16 BMD Fasilitas Penunjang



Gambar 2.17 SFD Fasilitas Penunjang

Pengambilan gaya-gaya dalam dari hasil ETABS, didapatkan gaya-gaya dalam balok anak, balok induk, dan kolom dari Fasilitas Penunjang yang akan digunakan dalam perancangan. Berikut adalah hasil rekapitulasi gaya dalam balok anak, balok induk, dan kolom Fasilitas Penunjang yang tertera pada tabel 2.24 dan 2.25 sesuai denah pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Denah Struktur Balok & Kolom Fasilitas Penunjang +3 m

Tabel 2.24 Gaya Dalam Balok Induk Fasilitas Penunjang

Posisi	Kondisi	B1 250x450	B2 250x350	B3 A 250x300	B3 B 250x300
Tumpuan	Mu+ (kNm)	12,3086	15,0454	9,3619	20,5171
	Mu- (kNm)	-52,6441	-30,9823	-24,4402	-23,4698
	Vu (kN)	-35,4916	-30,9949	-41,9576	33,2949
	Vg_ki (kN)	29,0946	23,4206	29,476	16,7781
	Vg_ka (kN)	29,0946	23,4206	29,476	16,7781
Lapangan	Mu+ (kNm)	22,442	13,816	10,4635	8,0194
	Mu- (kNm)	-7,5978	-8,2556	-4,4582	-3,8663
	Vu (kN)	-21,9374	-17,7361	-22,724	21,0362

Tabel 2.25 Gaya Dalam Kolom *Greenhouse*

Kondisi	P (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
max	-7,783	4,708	5,052
min	-141,685	26,194	11,082

2.8 Perancangan Struktur Atap

Perancangan struktur atap terbagi menjadi beberapa tahapan utama yaitu, perencanaan gording lalu perencanaan kuda-kuda baja. Sebelum merencanakan gording, perlu ada hal-hal yang perlu diperhatikan, sebagai berikut:

1. □ Jarak horizontal antara gording untuk atap genteng atau sirap dapat bervariasi mulai dari 1800 mm hingga maksimal 2500 mm, sementara untuk atap seng atau asbes berkisar antara 1000 hingga 1300 mm.
2. □ Jumlah batang tarik atau sag rod untuk menahan beban sepanjang sumbu lemah gording ditetapkan berdasarkan bentang gording (jarak kuda-kuda). Maksimum jarak sagrod yang dapat diambil adalah 2000 mm.
3. □ Bentang gording dipengaruhi oleh jarak antara kuda-kuda, idealnya sejajar dengan jarak kolom struktur. Namun, jika tidak memungkinkan, jarak kuda-kuda dapat diambil antara 2500 mm hingga 4000 mm untuk atap genteng atau sirap. Untuk atap seng atau asbes, jarak kuda-kuda dapat hingga 6000 mm.
4. □ Kuda-kuda yang menggunakan baja konvensional, dianjurkan untuk menggunakan batang ikatan angin, guna menambah kekakuan antara kuda-kuda satu dengan yang lain dengan jumlah 2 batang membentang menyilang.

Sebelum melakukan perhitungan dari aturan-aturan tersebut, berikut ini adalah tabel 2.26 yang berisi informasi berupa data-data yang diperlukan untuk menentukan perencanaan gording maupun atap:

Tabel 2.26 Informasi Umum Perencanaan Atap

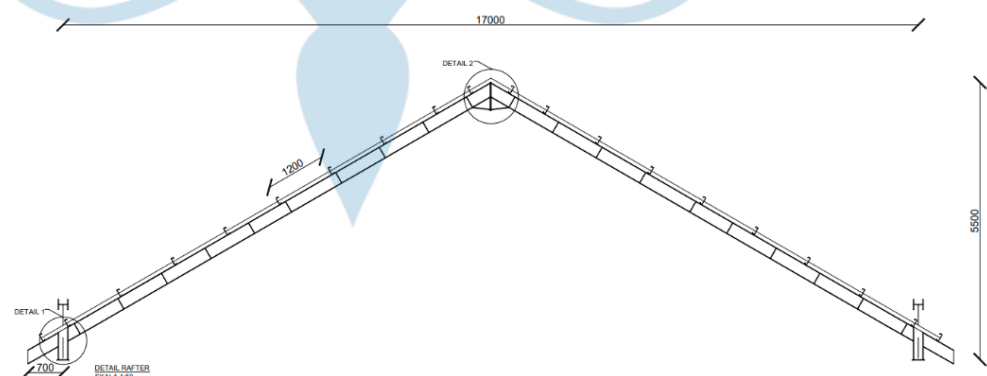
Keterangan	satuan	Kantor Pengelola	Kantor Penerima	Greenhouse	Fasilitas Penunjang	
					Kantin	Musholah
Jarak antar gording	m	1,1	1,1	1,1	1,3	1,2
sudut	α	30	35	25	35	35
jarak antar Kuda-Kuda	m	5	5,5	5	5	5
Beban atap	kN/m	0,051	0,054	0,015	0,063	0,059
Beban plafon+hollow	kN/m	0,134	0,134	0	0	0,146
Berat gording	kN/m	0,054	0,054	0,036	0,041	0,041
Fy baja	Mpa	240	240	240	240	240
Tiupan angin	kN/m ²	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Tinggi struktur	m	7	4,5	3,5	3,5	3,5
Tinggi atap	m	5,5	5	3	3,3	2,5

2.8.1 Perancangan Atap

A. Kantor Pengelola

• Rencana Gording

Perencanaan gording dilakukan sesuai dengan gambar detail rencana gording dan kuda-kuda kantor pengelola yang tertera pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Detail Rencana Gording dan Kuda-Kuda Kantor Pengelola

a. Beban Gording

$$\text{➤ Berat sendiri} = 5,4 \text{ kg/m}^2 = 0,054 \text{ kN/m}$$

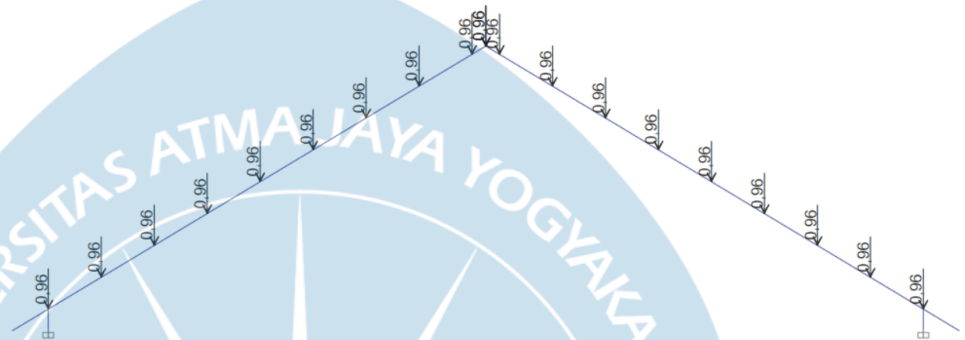
$$\text{➤ Berat atap} = \frac{1,1}{\cos 30^\circ} \times 0,122 = 0,051 \text{ kN/m}$$

➤ □ Berat plafon + hollow = $1,1 \times 0,122 = 0,134 \text{ kN/m}$

Dead load (D) rencana gording q: $0,239 \text{ kN/m}$

Live Load (L) diambil sebesar $0,96 \text{ kN/m}$

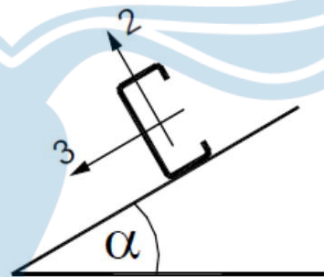
Dari beban yang telah dihitung, akan dimodelkan ke dalam ETABS seperti tertera pada gambar 2.20.



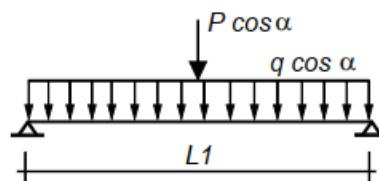
Gambar 2.20 Modeling Input Beban Hidup Gording Kantor Pengelola

b. Rencana Momen Gording

Karena gording terpasang miring, tentu beban yang bekerja di gording akan terbagi menjadi sumbu 2 dan sumbu 3, seperti pada Gambar 2.21, dan tentu beban tersebut menghasilkan proyeksi momen sumbu 2 dan 3 seperti Gambar 2.22 dan Gambar 2.23 .



Gambar 2.21 Proyeksi Sumbu Gording



Gambar 2.22 Momen Gording Sumbu 2

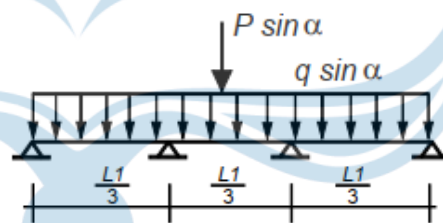
Momen gording sumbu 2

$$\begin{aligned} M_{2, D} &= \frac{1}{8} \times q \times \cos \alpha \times (L_1)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,239 \times \cos 30^\circ \times (5)^2 \\ &= 0,647 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, L} &= \frac{1}{4} \times P \times \cos \alpha \times L_1 \\ &= \frac{1}{4} \times 0,96 \times \cos 30^\circ \times 5 \\ &= 1,039 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, U} &= 1,4 \times M_{2, D} \\ &= 1,4 \times 0,647 \\ &= 0,906 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, U} &= 1,2 \times M_{2, D} + 1,6 M_{2, L} \\ &= 1,2 \times 0,647 + 1,6 \times 1,039 \\ &= 2,439 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Gambar 2.23 Momen Gording Sumbu 3

Momen gording sumbu 3

$$\begin{aligned} M_{3, D} &= \frac{1}{8} \times q \times \sin \alpha \times \left(\frac{L_1}{3}\right)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,239 \times \sin 30^\circ \times \left(\frac{5}{3}\right)^2 \\ &= 0,041 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3, L} &= \frac{1}{4} \times P \times \sin \alpha \times \frac{L_1}{3} \\ &= \frac{1}{4} \times 0,96 \times \sin 30^\circ \times \frac{5}{3} \\ &= 0,2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{3, U} = 1,4 \times M_{3, D}$$

$$= 1,4 \times 0,041$$

$$= 0,057 \text{ kNm}$$

$$M_{3, U} = 1,2 \times M_{3, D} + 1,6 M_{3, L}$$

$$= 1,2 \times 0,041 + 1,6 \times 0,2$$

$$= 0,369 \text{ kNm}$$

c. Cek Tegangan pada Profil C

$$fb = \frac{M_3 U}{\phi W_3} + \frac{M_2 U}{\phi W_2} \leq Fy$$

Digunakan profil **C 150 × 50 × 20** dengan tebal 2,5 cm

$$W_3 = S_x = 30200 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = S_y = 6800 \text{ mm}^3$$

$$fb = \frac{2,439 \times 10^6}{0,9 \times 30200} + \frac{0,369 \times 10^6}{0,9 \times 6800} = 150,029 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa}$$

Maka tegangan profil C aman.

d. Cek Defleksi Gording

$$I_3 = I_x = 226000 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = I_y = 230000 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha (L_1)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha (L_1)^3}{EI} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,239 \cos 30^\circ (5000)^4}{200000 \times 2260000} + \frac{1}{48} \times \frac{0,96 \cos 30^\circ (5000)^3}{200000 \times 2260000} \\ &= 3,731 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_3 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^3}{EI} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,239 \sin 30^\circ \left(\frac{5000}{3}\right)^4}{200000 \times 230000} + \frac{1}{48} \times \frac{0,96 \sin 30^\circ \left(\frac{5000}{3}\right)^3}{200000 \times 230000} \\ &= 0,262 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$\delta = \sqrt{(3,731)^2 + (0,262)^2} \leq \frac{1}{240} (5000)$$

$$\delta = 3,740 \leq 20,833 \text{ maka gording aman terhadap defleksi}$$

e. Rencana Sag-rod

Jumlah gording yang digunakan sebanyak 9 buah.

$$\begin{aligned} F_{t,D} &= n \times \left(\frac{L}{3} \times q \times \sin \alpha \right) \\ &= 9 \times \left(\frac{5000}{3} \times 0,239 \times \sin 30^\circ \right) = 1,793 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{t,L} &= \frac{n}{2} \times P \times \sin \alpha \\ &= \frac{9}{2} \times 0,96 \times \sin 30^\circ \\ &= 2,16 \text{ kN} \end{aligned}$$

f. Kombinasi Beban

$$\begin{aligned} F_{t,U} &= 1,4 \times F_{t,D} \\ &= 1,4 \times 1,793 \\ &= 2,51 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{t,U} &= 1,2 \times F_{t,D} + 1,6 F_{t,L} \\ &= 1,2 \times 1,793 + 1,6 \times 2,16 \\ &= 5,608 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Luas batang sag-rod yang diperlukan:

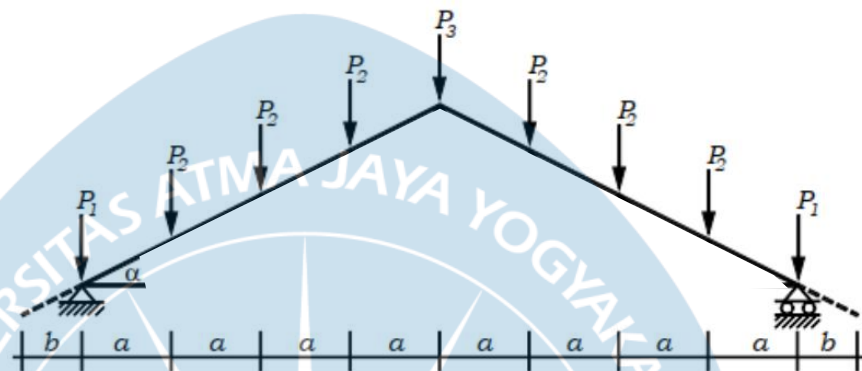
$$A_{st} = \frac{F_{t,U} \times 10^3}{\phi F_y}$$

$$A_{st} = \frac{5,608 \times 10^3}{0,9 \times 240} = 25,963 \text{ mm}^2$$

Digunakan Sagrod diameter P6

• **Rencana Beban Kuda-kuda**

Beban kuda-kuda yang akan dimasukkan adalah beban titik dari letak gording dan sudah memperhitungkan luas *tributary area*, maka pembagian beban titik kuda-kuda atap, dapat dilihat pada gambar 2.24 sebagai berikut:



Gambar 2.24 Plot Beban Titik Kuda-Kuda *Monoframe* P1, P2, dan P3

a. Beban P1

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Beban sendiri kuda-kuda} &= \frac{a}{2} \times W_{\text{kuda-kuda}} \\ &= \frac{1,1}{2} \times 0,296 = 0,163 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Beban gording} &= L \times \text{berat gording per } m' \\ &= 5 \times 0,054 = 0,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Beban atap} &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times L \times W_{\text{atap}} \\ &= \left(\frac{\frac{1,1}{2} + 0,7}{\cos 30^\circ} \right) \times 5 \times 0,04 = 0,289 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Beban plafon} &= \left(\frac{a}{2} + b \right) \times L \times W \\ &= \left(\frac{1,1}{2} + 0,7 \right) \times 5 \times 0,134 = 0,967 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Beban P1} = 1,689 \text{ kN}$$

b. Beban P2

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Beban sendiri kuda-kuda} &= a \times W_{\text{kuda-kuda}} \\ &= 1,1 \times 0,296 = 0,326 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{➤} \square \text{Beban gording} = L \times \text{berat gording per } m'$$

$$= 5 \times 0,054 = 0,27 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat atap} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times L \times W_{\text{atap}} \\ &= \left(\frac{1,1}{\cos 30^\circ} \right) \times 5 \times 0,04 = 0,254 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat plafon} &= a \times L \times W \\ &= 1,1 \times 5 \times 0,134 = 0,737 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Beban P2} = 1,587 \text{ kN}$$

c. Beban P3

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat sendiri kuda-kuda} &= a \times W_{\text{kuda-kuda}} \\ &= 1,1 \times 0,296 = 0,326 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat gording} &= 2L \times \text{berat gording per } m' \\ &= 10 \times 0,054 = 0,54 \text{ kN} \end{aligned}$$

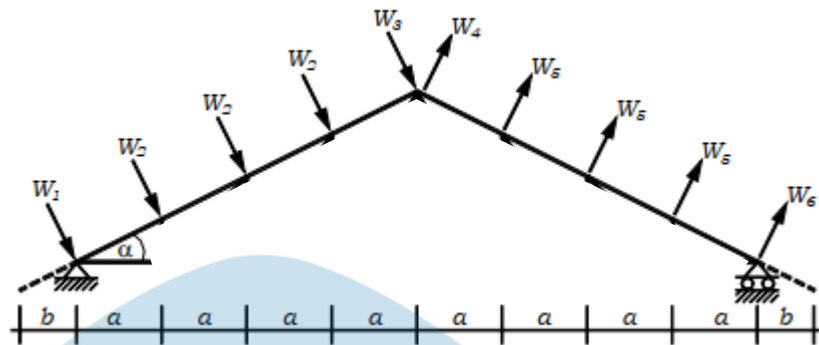
$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat atap} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times L \times W_{\text{atap}} \\ &= \left(\frac{1,1}{\cos 30^\circ} \right) \times 5 \times 0,04 = 0,254 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat plafon} &= a \times L \times W \\ &= 1,1 \times 5 \times 0,134 = 0,737 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Beban P3} = 1,857 \text{ kN}$$

d. Beban Angin

Beban angin yang akan dimasukkan adalah beban titik dari letak gording, dan beban angin ditentukan oleh koefisien angin tiup (Cti) dan angin isap (Cis) sesuai dengan SNI 1727:2020 gambar 27.3-1. Maka pembagian beban titik kuda-kuda atap, dapat dilihat pada gambar 2.25 sebagai berikut:



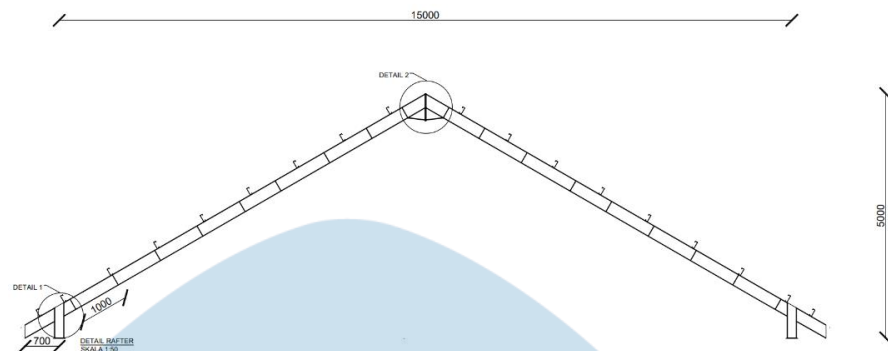
Gambar 2.25 Plot Beban Angin Kuda-Kuda *Monoframe* W1 Sampai W6

$$\begin{aligned}
 \text{➤} \square \text{Beban } W1 &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= \left(\frac{\frac{1,1}{2} + 0,7}{\cos 30^\circ} \right) \times 0,2 \times 5 \times 0,25 = 0,361 \text{ kN} \\
 \text{➤} \square \text{Beban } W2 &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= \left(\frac{1,1}{\cos 30^\circ} \right) \times 0,2 \times 5 \times 0,25 = 0,318 \text{ kN} \\
 \text{➤} \square \text{Beban } W3 &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{1,1}{\cos 30^\circ} \right) \times 0,2 \times 5 \times 0,25 = 0,159 \text{ kN} \\
 \text{➤} \square \text{Beban } W4 &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\
 &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{1,1}{\cos 30^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5 \times 0,25 = -0,474 \text{ kN} \\
 \text{➤} \square \text{Beban } W5 &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\
 &= \left(\frac{1,1}{\cos 30^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5 \times 0,25 = -0,953 \text{ kN} \\
 \text{➤} \square \text{Beban } W6 &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\
 &= \left(\frac{\frac{1,1}{2} + 0,7}{\cos 30^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5 \times 0,25 = -1,083 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

E. Kantor Penerima

• □ Rencana Gording

Perencanaan gording dilakukan sesuai dengan detail rencana gording dan kuda-kuda Kantor Penerima seperti tertera pada gambar 2.26.



Gambar 2.26 Detail Rencana Gording dan Kuda-kuda Kantor Penerima

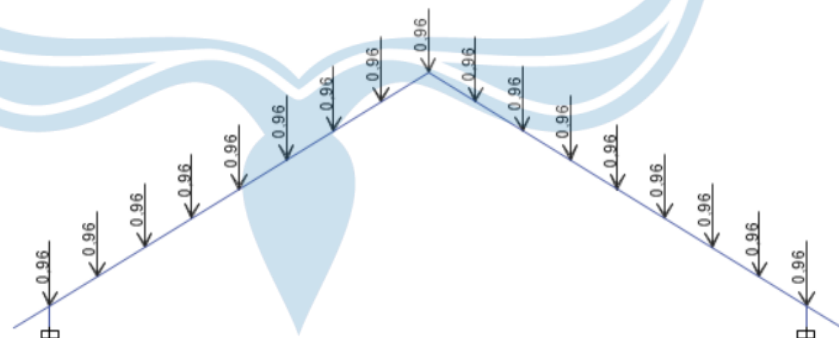
a. Beban Gording

- □ Berat sendiri = $5,4 \text{ kg/m}^2 = 0,054 \text{ kN/m}$
- □ Berat atap = $\frac{1,1}{\cos 35^\circ} \times 0,122 = 0,054 \text{ kN/m}$
- □ Berat plafon + hollow = $1,1 \times 0,122 = 0,134 \text{ kN/m}$

Dead load (D) rencana gording q: $0,242 \text{ kN/m}$

Live Load (L) diambil sebesar $0,96 \text{ kN/m}$

Setelah dihitung pembebanan untuk atap, maka akan dimodelkan ke dalam ETABS seperti yang tertera pada gambar 2.27.



Gambar 2.27 Modeling Input Beban Hidup Gording Kantor Pengelola

b. Rencana Momen Gording

Karena gording terpasang miring, tentu beban yang bekerja di gording akan terbagi menjadi sumbu 2 dan sumbu 3, seperti pada Gambar 2.21, dan tentu beban tersebut menghasilkan proyeksi momen sumbu 2 dan 3 seperti Gambar 2.22 dan Gambar 2.23.

Momen gording sumbu 2

$$\begin{aligned} M_{2, D} &= \frac{1}{8} \times q \times \cos \alpha \times (L_1)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,242 \times \cos 35^\circ \times (5,5)^2 \\ &= 0,75 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, L} &= \frac{1}{4} \times P \times \cos \alpha \times L_1 \\ &= \frac{1}{4} \times 0,96 \times \cos 35^\circ \times 5,5 \\ &= 1,081 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, U} &= 1,4 \times M_{2, D} \\ &= 1,4 \times 0,75 \\ &= 1,050 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, U} &= 1,2 \times M_{2, D} + 1,6 M_{2, L} \\ &= 1,2 \times 0,75 + 1,6 \times 1,081 \\ &= 2,630 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen gording sumbu 3

$$\begin{aligned} M_{3, D} &= \frac{1}{8} \times q \times \sin \alpha \times \left(\frac{L_1}{3}\right)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,242 \times \sin 35^\circ \times \left(\frac{5,5}{3}\right)^2 \\ &= 0,058 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3, L} &= \frac{1}{4} \times P \times \sin \alpha \times \frac{L_1}{3} \\ &= \frac{1}{4} \times 0,96 \times \sin 35^\circ \times \frac{5,5}{3} \\ &= 0,252 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3, U} &= 1,4 \times M_{3, D} \\ &= 1,4 \times 0,058 \\ &= 0,057 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3, U} &= 1,2 \times M_{3, D} + 1,6 M_{3, L} \\ &= 1,2 \times 0,058 + 1,6 \times 0,252 \\ &= 0,473 \text{ kNm} \end{aligned}$$

c. Cek Tegangan pada Profil C

$$fb = \frac{M_3 U}{\phi W_3} + \frac{M_2 U}{\phi W_2} \leq Fy$$

Digunakan profil C 150 × 50 × 20 dengan tebal 2,5 cm

$$W_3 = S_x = 30200 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = S_y = 6800 \text{ mm}^3$$

$$fb = \frac{2,630 \times 10^6}{0,9 \times 30200} + \frac{0,473 \times 10^6}{0,9 \times 6800} = 174,05 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa}$$

Maka tegangan profil C aman.

d. Cek Defleksi Gording

$$I_3 = I_x = 226000 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = I_y = 230000 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha (L_1)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha (L_1)^3}{EI} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,242 \cos 35^\circ (5500)^4}{200000 \times 2260000} + \frac{1}{48} \times \frac{0,96 \cos 35^\circ (5500)^3}{200000 \times 2260000} \\ &= 5,232 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_3 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^3}{EI} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,242 \sin 35^\circ \left(\frac{5500}{3}\right)^4}{200000 \times 230000} + \frac{1}{48} \times \frac{0,96 \sin 35^\circ \left(\frac{5500}{3}\right)^3}{200000 \times 230000} \\ &= 0,445 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$\delta = \sqrt{(5,232)^2 + (0,445)^2} \leq \frac{1}{240} (5500)$$

$$\delta = 5,251 \leq 22,917 \text{ maka gording aman terhadap defleksi}$$

e. Rencana Sag-rod

Jumlah gording yang digunakan sebanyak 8 buah.

$$\begin{aligned} F_{t,D} &= n \times \left(\frac{L}{3} \times q \times \sin \alpha \right) \\ &= 8 \times \left(\frac{5500}{3} \times 0,242 \times \sin 35^\circ \right) = 2,036 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{t,L} &= \frac{n}{2} \times P \times \sin \alpha \\ &= \frac{8}{2} \times 0,96 \times \sin 35^\circ = 2,203 \text{ kNm} \end{aligned}$$

f. Kombinasi Beban

$$\begin{aligned} F_{t,U} &= 1,4 \times F_{t,D} \\ &= 1,4 \times 2,036 \\ &= 2,850 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{t,U} &= 1,2 \times F_{t,D} + 1,6 F_{t,L} \\ &= 1,2 \times 2,036 + 1,6 \times 2,203 \\ &= 5,968 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Luas batang sag-rod yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{F_{t,U} \times 10^3}{\phi F_y} \\ A_{st} &= \frac{5,968 \times 10^3}{0,9 \times 240} = 25,963 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

• □ Rencana Beban Kuda-kuda

Beban kuda-kuda yang akan dimasukkan adalah beban titik dari letak gording dan sudah memperhitungkan luas *tributary area*, maka pembagian beban titik kuda-kuda atap, dapat dilihat di Gambar 2.24:

a. Beban P1

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat sendiri kuda-kuda} &= \frac{a}{2} \times W_{\text{kuda-kuda}} \\ &= \frac{1,1}{2} \times 0,296 = 0,163 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat gording} &= L \times \text{berat gording per } m' \\ &= 5,5 \times 0,054 = 0,297 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat atap} &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times L \times W_{\text{atap}} \\ &= \left(\frac{\frac{1,1}{2} + 0,7}{\cos 35^\circ} \right) \times 5,5 \times 0,04 = 0,336 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat plafon} &= \left(\frac{a}{2} + b \right) \times L \times W \\ &= \left(\frac{1,1}{2} + 0,7 \right) \times 5,5 \times 0,134 = 1,125 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Beban P1} = 1,921 \text{ kN}$$

b. Beban P2

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat sendiri kuda-kuda} &= a \times W_{\text{kuda-kuda}} \\ &= 1,1 \times 0,296 = 0,326 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat gording} &= L \times \text{berat gording per } m' \\ &= 5,5 \times 0,054 = 0,297 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat atap} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times L \times W_{\text{atap}} \\ &= \left(\frac{1,1}{\cos 35^\circ} \right) \times 5,5 \times 0,04 = 0,295 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat plafon} &= a \times L \times W \\ &= 1,1 \times 5,5 \times 0,134 = 0,811 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Beban P2} = 1,729 \text{ kN}$$

c. Beban P3

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat sendiri kuda-kuda} &= a \times W_{\text{kuda-kuda}} \\ &= 1,1 \times 0,296 = 0,326 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Berat gording} &= 2L \times \text{berat gording per } m' \\ &= 11 \times 0,054 = 0,594 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤} \square \text{Beban atap} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times L \times W_{\text{atap}} \\
 &= \left(\frac{1,1}{\cos 35^\circ} \right) \times 5,5 \times 0,04 = 0,295 \text{ kN} \\
 \text{➤} \square \text{Beban plafon} &= a \times L \times W \\
 &= 1,1 \times 5,5 \times 0,134 = 0,811 \text{ kN} \\
 \text{Beban P3} &= 2,026 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Beban Angin

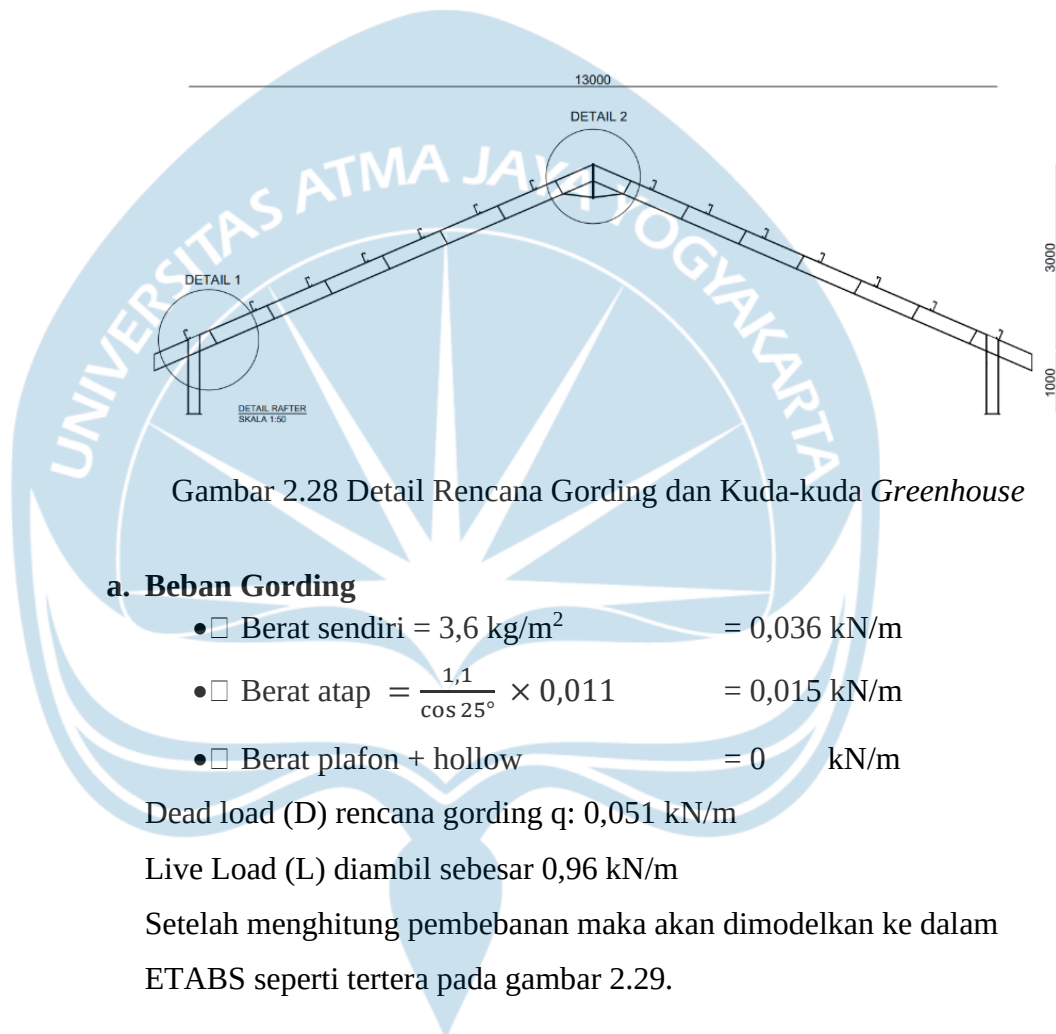
Beban angin yang akan dimasukkan adalah beban titik dari letak gording, dan beban angin ditentukan oleh koefisien angin tiup (C_{ti}) dan angin isap (C_{is}) sesuai dengan SNI 1727:2020 gambar 27.3-1. Maka pembagian beban titik kuda-kuda atap, dapat dilihat Gambar 2.25:

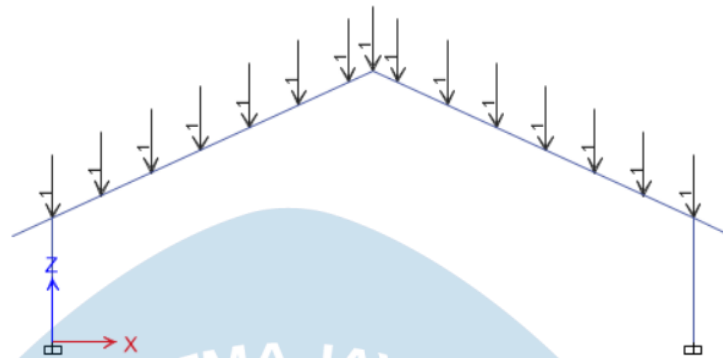
$$\begin{aligned}
 \text{➤} \square \text{Beban W1} &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= \left(\frac{\frac{1,1}{2} + 0,7}{\cos 35^\circ} \right) \times 0,3 \times 5,5 \times 0,25 = 0,629 \text{ kN} \\
 \text{➤} \square \text{Beban W2} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= \left(\frac{1,1}{\cos 35^\circ} \right) \times 0,3 \times 5,5 \times 0,25 = 0,554 \text{ kN} \\
 \text{➤} \square \text{Beban W3} &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{1,1}{\cos 35^\circ} \right) \times 0,3 \times 5,5 \times 0,25 = 0,277 \text{ kN} \\
 \text{➤} \square \text{Beban W4} &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\
 &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{1,1}{\cos 35^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5,5 \times 0,25 = -0,554 \text{ kN} \\
 \text{➤} \square \text{Beban W5} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\
 &= \left(\frac{1,1}{\cos 35^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5,5 \times 0,25 = -1,108 \text{ kN} \\
 \text{➤} \square \text{Beban W6} &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\
 &= \left(\frac{\frac{1,1}{2} + 0,7}{\cos 35^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5,5 \times 0,25 = -1,259 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

F. Greenhouse

• Rencana Gording

Perencanaan gording dilakukan sesuai dengan detail rencana gording dan kuda-kuda Gedung *Greenhouse* seperti tertera pada gambar 2.28.





Gambar 2.29 *Modeling Input Beban Hidup Gording Greenhouse*

b. Rencana Momen Gording

Karena gording terpasang miring, tentu beban yang bekerja di gording akan terbagi menjadi sumbu 2 dan sumbu 3, seperti pada Gambar 2.21, dan tentu beban tersebut menghasilkan proyeksi momen sumbu 2 dan 3 seperti Gambar 2.22 dan Gambar 2.23 .

Momen gording sumbu 2

$$\begin{aligned} M_{2, D} &= \frac{1}{8} \times q \times \cos \alpha \times (L_1)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,051 \times \cos 25^\circ \times (5)^2 \\ &= 0,144 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, L} &= \frac{1}{4} \times P \times \cos \alpha \times L_1 \\ &= \frac{1}{4} \times 0,96 \times \cos 25^\circ \times 5 \\ &= 1,088 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, U} &= 1,4 \times M_{2, D} \\ &= 1,4 \times 0,144 \\ &= 0,202 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, U} &= 1,2 \times M_{2, D} + 1,6 M_{2, L} \\ &= 1,2 \times 0,144 + 1,6 \times 1,088 \\ &= 1,914 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen gording sumbu 3

$$\begin{aligned} M_{3, D} &= \frac{1}{8} \times q \times \sin \alpha \times \left(\frac{L_1}{3}\right)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,051 \times \sin 25^\circ \times \left(\frac{5}{3}\right)^2 \\ &= 0,007 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3, L} &= \frac{1}{4} \times P \times \sin \alpha \times \frac{L_1}{3} \\ &= \frac{1}{4} \times 0,96 \times \sin 25^\circ \times \frac{5}{3} \\ &= 0,169 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3, U} &= 1,4 \times M_{3, D} \\ &= 1,4 \times 0,007 \\ &= 0,010 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3, U} &= 1,2 \times M_{3, D} + 1,6 M_{3, L} \\ &= 1,2 \times 0,007 + 1,6 \times 0,169 \\ &= 0,279 \text{ kNm} \end{aligned}$$

c. Cek Tegangan pada Profil C

$$fb = \frac{M_3 U}{\phi W_3} + \frac{M_2 U}{\phi W_2} \leq Fy$$

Digunakan profil C 100 × 50 × 20 dengan tebal 2 cm

$$W_3 = S_x = 14300 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = S_y = 5400 \text{ mm}^3$$

$$fb = \frac{1,914 \times 10^6}{0,9 \times 14300} + \frac{0,279 \times 10^6}{0,9 \times 5400} = 206,125 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa}$$

Maka tegangan profil C aman.

d. Cek Defleksi Gording

$$I_3 = I_x = 710000 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = I_y = 170000 \text{ mm}^4$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha (L_1)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha (L_1)^3}{EI}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{5}{384} \times \frac{0,051 \cos 25^\circ (5000)^4}{200000 \times 710000} + \frac{1}{48} \times \frac{0,96 \cos 25^\circ (5000)^3}{200000 \times 710000} \\
&= 2,665 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\delta_3 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^3}{EI} \\
&= \frac{5}{384} \times \frac{0,051 \sin 25^\circ \left(\frac{5000}{3}\right)^4}{200000 \times 170000} + \frac{1}{48} \times \frac{0,96 \sin 25^\circ \left(\frac{5000}{3}\right)^3}{200000 \times 170000} \\
&= 0,065 \text{ mm}
\end{aligned}$$

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

$$\delta = \sqrt{(2,665)^2 + (0,065)^2} \leq \frac{1}{240} (5000)$$

$$\delta = 2,666 \leq 20,833 \text{ maka gording aman terhadap defleksi}$$

e. Rencana Sag-rod

Jumlah gording yang digunakan sebanyak 7 buah.

$$\begin{aligned}
F_{t,D} &= n \times \left(\frac{L}{3} \times q \times \sin \alpha\right) \\
&= 7 \times \left(\frac{5000}{3} \times 0,051 \times \sin 25^\circ\right) = 0,251 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{t,L} &= \frac{n}{2} \times P \times \sin \alpha \\
&= \frac{8}{2} \times 0,96 \times \sin 35^\circ = 2,203 \text{ kN}
\end{aligned}$$

f. Kombinasi Beban

$$\begin{aligned}
F_{t,U} &= 1,4 \times F_{t,D} \\
&= 1,4 \times 0,251 \\
&= 0,3514 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{t,U} &= 1,2 \times F_{t,D} + 1,6 F_{t,L} \\
 &= 1,2 \times 0,251 + 1,6 \times 1,42 \\
 &= 2,573 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Luas batang sag-rod yang diperlukan:

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{F_{t,U} \times 10^3}{\phi F_y} \\
 A_{st} &= \frac{2,573 \times 10^3}{0,9 \times 240} = 11,912 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

• **Rencana Beban Kuda-kuda**

Beban kuda-kuda yang akan dimasukkan adalah beban titik dari letak gording dan sudah memperhitungkan luas *tributary area*, maka pembagian beban titik kuda-kuda atap, dapat dilihat di Gambar 2.24:

a. Beban P1

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Berat sendiri kuda-kuda} &= \frac{a}{2} \times W_{\text{kuda-kuda}} \\
 &= \frac{1,1}{2} \times 0,306 = 0,168 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Berat gording} &= L \times \text{berat gording per m'} \\
 &= 5 \times 0,036 = 0,180 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Berat atap} &= \left(\frac{\frac{a+b}{2}}{\cos \alpha} \right) \times L \times W_{\text{atap}} \\
 &= \left(\frac{\frac{1,1+0,8}{2}}{\cos 25^\circ} \right) \times 5 \times 0,011 = 0,082 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{➤ Berat plafon} = 0 \text{ kN}$$

$$\text{Beban P1} = 0,43 \text{ kN}$$

b. Beban P2

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Berat sendiri kuda-kuda} &= a \times W_{\text{kuda-kuda}} \\
 &= 1,1 \times 0,306 = 0,337 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Berat gording} &= L \times \text{berat gording per m'} \\
 &= 5 \times 0,036 = 0,180 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

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

$$= \left(\frac{1,1}{\cos 25^\circ} \right) \times 5 \times 0,011 = 0,067 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow \square \text{Berat plafon} = 0 \text{ kN}$$

$$\text{Beban P2} = 0,584 \text{ kN}$$

c. Beban P3

$$\begin{aligned} \Rightarrow \square \text{Berat sendiri kuda-kuda} &= a \times W_{\text{kuda-kuda}} \\ &= 1,1 \times 0,306 = 0,337 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \square \text{Berat gording} &= 2L \times \text{berat gording per } m' \\ &= 10 \times 0,036 = 0,360 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \square \text{Berat atap} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times L \times W_{\text{atap}} \\ &= \left(\frac{1,1}{\cos 25^\circ} \right) \times 5 \times 0,011 = 0,067 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \square \text{Berat plafon} = 0 \text{ kN}$$

$$\text{Beban P3} = 0,784 \text{ kN}$$

d. Beban Angin

Beban angin yang akan dimasukkan adalah beban titik dari letak gording, dan beban angin ditentukan oleh koefisien angin tiup (C_{ti}) dan angin isap (C_{is}) sesuai dengan SNI 1727:2020 gambar 27.3-1. Maka pembagian beban titik kuda-kuda atap, dapat dilihat Gambar 2.25:

$$\begin{aligned} \Rightarrow \square \text{Beban W1} &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \left(\frac{\frac{1,1}{2} + 0,8}{\cos 25^\circ} \right) \times 0,24 \times 5 \times 0,25 = 0,447 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \square \text{Beban W2} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \left(\frac{1,1}{\cos 25^\circ} \right) \times 0,24 \times 5 \times 0,25 = 0,364 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \square \text{Beban W3} &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{1,1}{\cos 25^\circ} \right) \times 0,24 \times 5 \times 0,25 = 0,182 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rightarrow \square \text{Beban } W4 &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\ &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{1,1}{\cos 25^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5 \times 0,25 = -0,455 \text{ kN}\end{aligned}$$

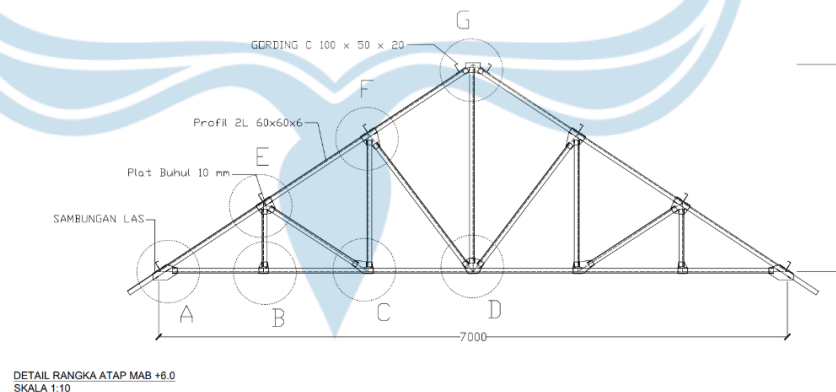
$$\begin{aligned}\rightarrow \square \text{Beban } W5 &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\ &= \left(\frac{1,1}{\cos 25^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5 \times 0,25 = -0,910 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rightarrow \square \text{Beban } W6 &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\ &= \left(\frac{\frac{1,1}{2} + 0,8}{\cos 25^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5 \times 0,25 = -1,117 \text{ kN}\end{aligned}$$

G. Fasilitas Penunjang, MAB +6,0 m

• ☐ Rencana Gording

Perencanaan gording dilakukan sesuai dengan detail rencana gording dan kuda-kuda Gedung Fasilitas Penunjang seperti tertera pada gambar 2.30.



Gambar 2.30 Detail Gording dan Kuda-kuda Fasilitas Penunjang Mushola

a. Beban Gording

$$\bullet \square \text{ Berat sendiri} = 4,4 \text{ kg/m}^2 = 0,044 \text{ kN/m}$$

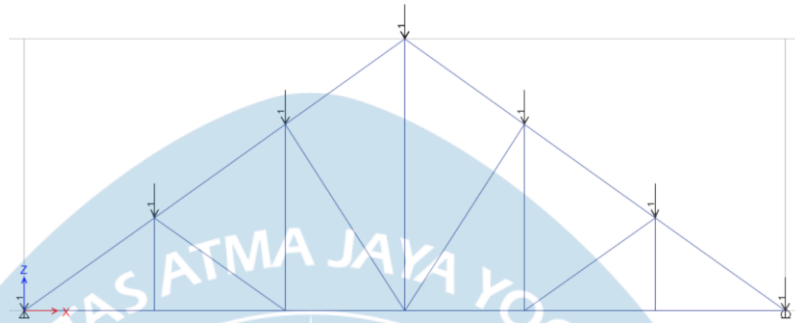
$$\bullet \square \text{ Berat atap} = \frac{1,2}{\cos 35^\circ} \times 0,122 = 0,059 \text{ kN/m}$$

$$\bullet \square \text{ Berat plafon + hollow} = 1,2 \times 0,122 = 0,146 \text{ kN/m}$$

Dead load (D) rencana gording q: 0,249 kN/m

Live Load (L) diambil sebesar 0,96 kN/m

Setelah dihitung untuk pembebanan kuda-kuda, maka dimodelkan ke dalam ETABS seperti pada gambar 2.31.



Gambar 2.31 *Modeling* Beban Hidup Gording Fasilitas Penunjang Mushola

b. Rencana Momen Gording

Karena gording terpasang miring, tentu beban yang bekerja di gording akan terbagi menjadi sumbu 2 dan sumbu 3, seperti pada Gambar 2.21, dan tentu beban tersebut menghasilkan proyeksi momen sumbu 2 dan 3 seperti Gambar 2.22 dan Gambar 2.23.

Momen gording sumbu 2

$$\begin{aligned} M_{2, D} &= \frac{1}{8} \times q \times \cos \alpha \times (L_1)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,249 \times \cos 35^\circ \times (5)^2 \\ &= 0,637 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, L} &= \frac{1}{4} \times P \times \cos \alpha \times L_1 \\ &= \frac{1}{4} \times 0,96 \times \cos 35^\circ \times 5 \\ &= 0,983 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, U} &= 1,4 \times M_{2, D} \\ &= 1,4 \times 0,637 \\ &= 0,892 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, U} &= 1,2 \times M_{2, D} + 1,6 M_{2, L} \\ &= 1,2 \times 0,637 + 1,6 \times 0,983 \\ &= 2,337 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen gording sumbu 3

$$\begin{aligned} M_{3, D} &= \frac{1}{8} \times q \times \sin \alpha \times \left(\frac{L_1}{3}\right)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,249 \times \sin 35^\circ \times \left(\frac{5}{3}\right)^2 \\ &= 0,043 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3, L} &= \frac{1}{4} \times P \times \sin \alpha \times \frac{L_1}{3} \\ &= \frac{1}{4} \times 0,96 \times \sin 35^\circ \times \frac{5}{3} \\ &= 0,2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3, U} &= 1,4 \times M_{3, D} \\ &= 1,4 \times 0,043 \\ &= 0,06 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3, U} &= 1,2 \times M_{3, D} + 1,6 M_{3, L} \\ &= 1,2 \times 0,043 + 1,6 \times 0,2 \\ &= 0,372 \text{ kNm} \end{aligned}$$

c. Cek Tegangan pada Profil C

$$fb = \frac{M_3 U}{\phi W_3} + \frac{M_2 U}{\phi W_2} \leq Fy$$

Digunakan profil C 100 × 50 × 20 dengan tebal 2,5 cm

$$W_3 = S_x = 17300 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = S_y = 6500 \text{ mm}^3$$

$$fb = \frac{2,337 \times 10^6}{0,9 \times 17300} + \frac{0,372 \times 10^6}{0,9 \times 6500} = 213,686 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa}$$

Maka tegangan profil C aman.

d. Cek Defleksi Gording

$$I_3 = I_x = 870000 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = I_y = 200000 \text{ mm}^4$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha (L_1)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha (L_1)^3}{EI}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{5}{384} \times \frac{0,249 \cos 35^\circ (5000)^4}{200000 \times 870000} + \frac{1}{48} \times \frac{0,96 \cos 35^\circ (5000)^3}{200000 \times 870000} \\
&= 9,551 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\delta_3 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^3}{EI} \\
&= \frac{5}{384} \times \frac{0,249 \sin 35^\circ \left(\frac{5000}{3}\right)^4}{200000 \times 200000} + \frac{1}{48} \times \frac{0,96 \sin 35^\circ \left(\frac{5000}{3}\right)^3}{200000 \times 200000} \\
&= 0,360 \text{ mm}
\end{aligned}$$

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

$$\delta = \sqrt{(9,551)^2 + (0,360)^2} \leq \frac{1}{240} (5000)$$

$$\delta = 9,558 \leq 20,833 \text{ maka gording aman terhadap defleksi}$$

e. Rencana Sag-rod

Jumlah gording yang digunakan sebanyak 4 buah.

$$\begin{aligned}
F_{t,D} &= n \times \left(\frac{L}{3} \times q \times \sin \alpha\right) \\
&= 4 \times \left(\frac{5000}{3} \times 0,249 \times \sin 35^\circ\right) = 0,952 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{t,L} &= \frac{n}{2} \times P \times \sin \alpha \\
&= \frac{4}{2} \times 0,96 \times \sin 35^\circ = 1,101 \text{ kN}
\end{aligned}$$

f. Kombinasi Beban

$$\begin{aligned}
F_{t,U} &= 1,4 \times F_{t,D} \\
&= 1,4 \times 0,952 \\
&= 1,333 \text{ kN}
\end{aligned}$$

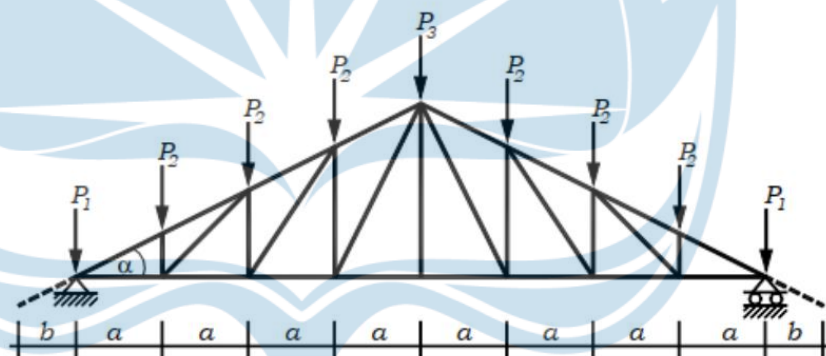
$$\begin{aligned}
 F_{t,U} &= 1,2 \times F_{t,D} + 1,6 F_{t,L} \\
 &= 1,2 \times 0,952 + 1,6 \times 1,101 \\
 &= 2,904 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Luas batang sag-rod yang diperlukan:

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{F_{t,U} \times 10^3}{\phi F_y} \\
 A_{st} &= \frac{2,904 \times 10^3}{0,9 \times 240} = 13,444 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

• **Rencana Beban Kuda-kuda**

Beban kuda-kuda yang akan dimasukkan adalah beban titik dari letak gording dan sudah memperhitungkan luas *tributary area*, maka pembagian beban titik kuda-kuda atap, dapat dilihat pada gambar 2.32 sebagai berikut:



Gambar 2.32 Plot Beban Titik Kuda-Kuda Truss P1, P2, dan P3

a. Beban P1

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri kuda-kuda} &= \frac{a}{2} \times W_{\text{kuda-kuda}} \\
 &= \frac{1,2}{2} \times 0,137 = 0,082 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat gording} &= L \times \text{berat gording per m'} \\
 &= 5 \times 0,044 = 0,22 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat atap} &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times L \times W_{\text{atap}} \\
 &= \left(\frac{\frac{1,2}{2} + 0,8}{\cos 35^\circ} \right) \times 5 \times 0,04 = 0,342 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Berat plafon} &= \left(\frac{a}{2} + b\right) \times L \times W \\ &= \left(\frac{1,2}{2} + 0,8\right) \times 5 \times 0,122 = 0,854 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\text{Beban P1} = 1,498 \text{ kN}$$

b. Beban P2

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Berat sendiri kuda-kuda} &= a \times W_{\text{kuda-kuda}} \\ &= 1,2 \times 0,137 = 0,164 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Berat gording} &= L \times \text{berat gording per } m' \\ &= 5 \times 0,054 = 0,22 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Berat atap} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha}\right) \times L \times W_{\text{atap}} \\ &= \left(\frac{1,2}{\cos 35^\circ}\right) \times 5 \times 0,04 = 0,293 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Berat plafon} &= a \times L \times W \\ &= 1,2 \times 5 \times 0,122 = 0,732 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\text{Beban P2} = 1,409 \text{ kN}$$

c. Beban P3

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Berat sendiri kuda-kuda} &= a \times W_{\text{kuda-kuda}} \\ &= 1,2 \times 0,137 = 0,164 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Berat gording} &= 2L \times \text{berat gording per } m' \\ &= 10 \times 0,044 = 0,440 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Berat atap} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha}\right) \times L \times W_{\text{atap}} \\ &= \left(\frac{1,2}{\cos 35^\circ}\right) \times 5 \times 0,04 = 0,293 \text{ kN}\end{aligned}$$

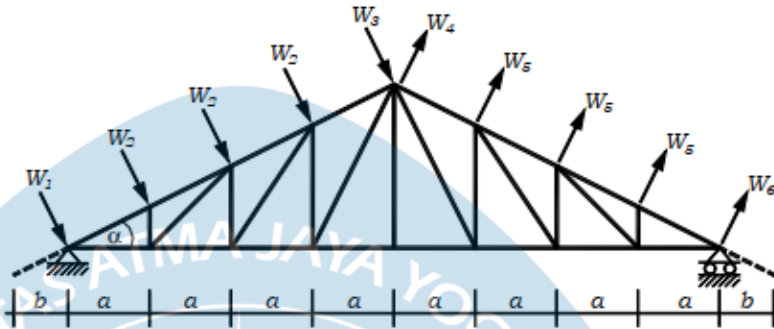
$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Berat plafon} &= a \times L \times W \\ &= 1,2 \times 5 \times 0,122 = 0,732 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\text{Beban P3} = 1,629 \text{ kN}$$

d. Beban Angin

Beban angin yang akan dimasukkan adalah beban titik dari letak gording, dan beban angin ditentukan oleh koefisien angin tiup (Cti) dan

angin isap (Cis) sesuai dengan SNI 1727:2020 gambar 27.3-1. Maka pembagian beban titik kuda-kuda atap, dapat dilihat pada gambar 2.33 sebagai berikut:



Gambar 2.33 Plot Beban Angin Kuda-Kuda Truss W1 Sampai W6

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Beban } W1 &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \left(\frac{\frac{1,2}{2} + 0,8}{\cos 35^\circ} \right) \times 0,26 \times 5 \times 0,25 = 0,555 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Beban } W2 &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \left(\frac{1,2}{\cos 35^\circ} \right) \times 0,26 \times 5 \times 0,25 = 0,476 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Beban } W3 &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{1,2}{\cos 35^\circ} \right) \times 0,26 \times 5 \times 0,25 = 0,238 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Beban } W4 &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\ &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{1,2}{\cos 35^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5 \times 0,25 = -0,549 \text{ kN} \end{aligned}$$

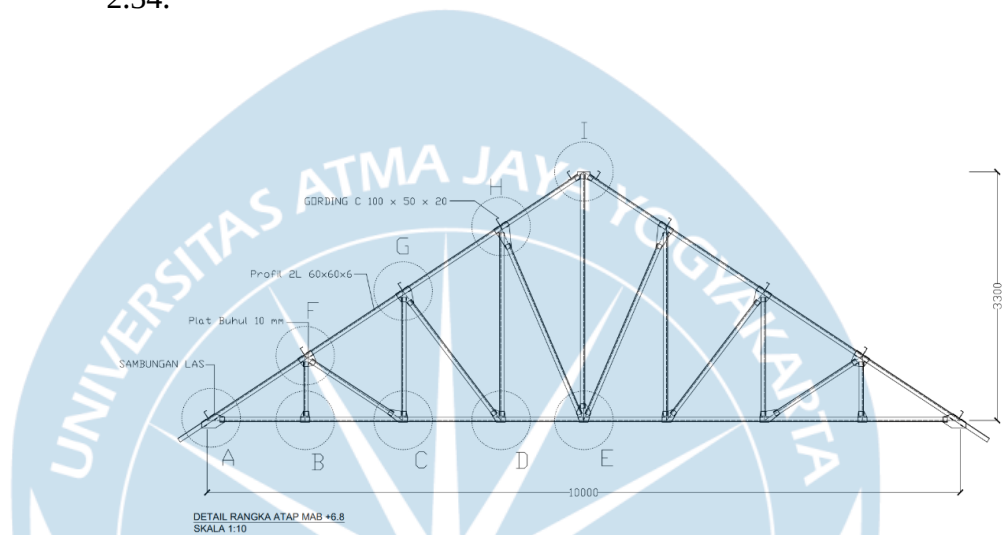
$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Beban } W5 &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\ &= \left(\frac{1,2}{\cos 35^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5 \times 0,25 = -1,099 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤} \square \text{Beban } W6 &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\ &= \left(\frac{\frac{1,2}{2} + 0,8}{\cos 35^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5 \times 0,25 = -1,282 \text{ kN} \end{aligned}$$

H. Fasilitas Penunjang, MAB +6,8 m

• Rencana Gording

Perencanaan gording dilakukan sesuai dengan detail rencana gording dan kuda-kuda Gedung Fasilitas Penunjang seperti tertera pada gambar 2.34.



Gambar 2.34 Detail Gording dan Kuda-kuda Fasilitas Penunjang Kantin

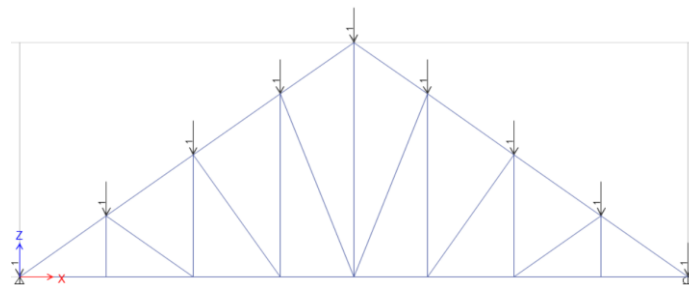
a. Beban Gording

- Berat sendiri = $4,4 \text{ kg/m}^2$ = $0,044 \text{ kN/m}$
- Berat atap = $\frac{1,3}{\cos 35^\circ} \times 0,122$ = $0,063 \text{ kN/m}$
- Berat plafon + hollow = 0 kN/m

Dead load (D) rencana gording q: $0,107 \text{ kN/m}$

Live Load (L) diambil sebesar $0,96 \text{ kN/m}$

Setelah dihitung pembebanannya maka akan dimodelkan ke dalam ETABS seperti tertera pada gambar 2.35.



Gambar 2.35 Modeling Beban Hidup Gording Fasilitas Penunjang Kantin

b. Rencana Momen Gording

Karena gording terpasang miring, tentu beban yang bekerja di gording akan terbagi menjadi sumbu 2 dan sumbu 3, seperti pada Gambar 2.21, dan tentu beban tersebut menghasilkan proyeksi momen sumbu 2 dan 3 seperti Gambar 2.22 dan Gambar 2.23 .

Momen gording sumbu 2

$$\begin{aligned} M_{2, D} &= \frac{1}{8} \times q \times \cos \alpha \times (L_1)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,107 \times \cos 35^\circ \times (5)^2 \\ &= 0,274 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, L} &= \frac{1}{4} \times P \times \cos \alpha \times L_1 \\ &= \frac{1}{4} \times 0,96 \times \cos 35^\circ \times 5 \\ &= 0,983 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, U} &= 1,4 \times M_{2, D} \\ &= 1,4 \times 0,274 \\ &= 0,384 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2, U} &= 1,2 \times M_{2, D} + 1,6 M_{2, L} \\ &= 1,2 \times 0,274 + 1,6 \times 0,983 \\ &= 1,902 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen gording sumbu 3

$$\begin{aligned} M_{3, D} &= \frac{1}{8} \times q \times \sin \alpha \times \left(\frac{L_1}{3}\right)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 0,107 \times \sin 35^\circ \times \left(\frac{5}{3}\right)^2 \\ &= 0,019 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3, L} &= \frac{1}{4} \times P \times \sin \alpha \times \frac{L_1}{3} \\ &= \frac{1}{4} \times 0,96 \times \sin 35^\circ \times \frac{5}{3} \\ &= 0,2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{3, U} = 1,4 \times M_{3, D}$$

$$= 1,4 \times 0,019$$

$$= 0,027 \text{ kNm}$$

$$M_{3, U} = 1,2 \times M_{3, D} + 1,6 M_{3, L}$$

$$= 1,2 \times 0,019 + 1,6 \times 0,2$$

$$= 0,343 \text{ kNm}$$

c. Cek Tegangan pada Profil C

$$fb = \frac{M_3 U}{\phi W_3} + \frac{M_2 U}{\phi W_2} \leq Fy$$

Digunakan profil C 100 × 50 × 20 dengan tebal 2,5 cm

$$W_3 = S_x = 17300 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = S_y = 6500 \text{ mm}^3$$

$$fb = \frac{1,902 \times 10^6}{0,9 \times 17300} + \frac{0,343 \times 10^6}{0,9 \times 6500} = 180,790 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa}$$

Maka tegangan profil C aman.

d. Cek Defleksi Gording

$$I_3 = I_x = 870000 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = I_y = 200000 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha (L_1)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha (L_1)^3}{EI} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,107 \cos 35^\circ (5000)^4}{200000 \times 870000} + \frac{1}{48} \times \frac{0,96 \cos 35^\circ (5000)^3}{200000 \times 870000} \\ &= 4,111 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_3 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^3}{EI} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,107 \sin 35^\circ \left(\frac{5000}{3}\right)^4}{200000 \times 200000} + \frac{1}{48} \times \frac{0,96 \sin 35^\circ \left(\frac{5000}{3}\right)^3}{200000 \times 200000} \\ &= 0,155 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$\delta = \sqrt{(4,111)^2 + (0,155)^2} \leq \frac{1}{240} (5000)$$

$$\delta = 4,114 \leq 20,833 \text{ maka gording aman terhadap defleksi}$$

e. Rencana Sag-rod

Jumlah gording yang digunakan sebanyak 5 buah.

$$\begin{aligned} F_{t,D} &= n \times \left(\frac{L}{3} \times q \times \sin \alpha \right) \\ &= 5 \times \left(\frac{5000}{3} \times 0,107 \times \sin 35^\circ \right) = 0,511 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{t,L} &= \frac{n}{2} \times P \times \sin \alpha \\ &= \frac{5}{2} \times 0,96 \times \sin 35^\circ = 1,377 \text{ kN} \end{aligned}$$

f. Kombinasi Beban

$$\begin{aligned} F_{t,U} &= 1,4 \times F_{t,D} \\ &= 1,4 \times 0,511 \\ &= 0,715 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{t,U} &= 1,2 \times F_{t,D} + 1,6 F_{t,L} \\ &= 1,2 \times 0,511 + 1,6 \times 1,377 \\ &= 2,816 \text{ kN} \end{aligned}$$

Luas batang sag-rod yang diperlukan:

$$Ast = \frac{F_{t,U} \times 10^3}{\phi F_y}$$

$$Ast = \frac{2,816 \times 10^3}{0,9 \times 240} = 13,037 \text{ mm}^2$$

• **Rencana Beban Kuda-kuda**

Beban kuda-kuda yang akan dimasukkan adalah beban titik dari letak gording dan sudah memperhitungkan luas *tributary area*, maka pembagian beban titik kuda-kuda atap, dapat dilihat pada Gambar 2.32 :

a. Beban P1

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Berat sendiri kuda-kuda} &= \frac{a}{2} \times W_{\text{kuda-kuda}} \\
 &= \frac{1,3}{2} \times 0,137 = 0,089 \text{ kN} \\
 \text{➤ Berat gording} &= L \times \text{berat gording per } m' \\
 &= 5 \times 0,044 = 0,22 \text{ kN} \\
 \text{➤ Berat atap} &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times L \times W_{\text{atap}} \\
 &= \left(\frac{\frac{1,3}{2} + 0,8}{\cos 35^\circ} \right) \times 5 \times 0,04 = 0,354 \text{ kN} \\
 \text{Beban P1} &= 0,663 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Beban P2

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Berat sendiri kuda-kuda} &= a \times W_{\text{kuda-kuda}} \\
 &= 1,3 \times 0,137 = 0,178 \text{ kN} \\
 \text{➤ Berat gording} &= L \times \text{berat gording per } m' \\
 &= 5 \times 0,054 = 0,22 \text{ kN} \\
 \text{➤ Berat atap} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times L \times W_{\text{atap}} \\
 &= \left(\frac{1,3}{\cos 35^\circ} \right) \times 5 \times 0,04 = 0,317 \text{ kN} \\
 \text{➤ Berat plafon} &= 0 \text{ kN} \\
 \text{Beban P2} &= 0,715 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Beban P3

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Berat sendiri kuda-kuda} &= a \times W_{\text{kuda-kuda}} \\
 &= 1,3 \times 0,137 = 0,178 \text{ kN} \\
 \text{➤ Berat gording} &= 2L \times \text{berat gording per } m' \\
 &= 10 \times 0,044 = 0,440 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Berat atap} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times L \times W_{\text{atap}} \\ &= \left(\frac{1,3}{\cos 35^\circ} \right) \times 5 \times 0,04 = 0,317 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\text{Beban P3} = 0,935 \text{ kN}$$

d. Beban Angin

Beban angin yang akan dimasukkan adalah beban titik dari letak gording, dan beban angin ditentukan oleh koefisien angin tiup (C_{ti}) dan angin isap (C_{is}) sesuai dengan SNI 1727:2020 gambar 27.3-1. Maka pembagian beban titik kuda-kuda atap, dapat dilihat di Gambar 2.33:

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Beban W1} &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \left(\frac{\frac{1,3}{2} + 0,8}{\cos 35^\circ} \right) \times 0,3 \times 5 \times 0,25 = 0,664 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Beban W2} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \left(\frac{1,3}{\cos 35^\circ} \right) \times 0,3 \times 5 \times 0,25 = 0,595 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Beban W3} &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{1,3}{\cos 35^\circ} \right) \times 0,3 \times 5 \times 0,25 = 0,298 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Beban W4} &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\ &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{1,3}{\cos 35^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5 \times 0,25 = -0,595 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Beban W5} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\ &= \left(\frac{1,3}{\cos 35^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5 \times 0,25 = -1,190 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤} \square \text{Beban W6} &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \alpha} \right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\ &= \left(\frac{\frac{1,3}{2} + 0,8}{\cos 35^\circ} \right) \times (-0,6) \times 5 \times 0,25 = -1,328 \text{ kN}\end{aligned}$$

2.8.2 Perancangan Elemen Kuda-kuda

Kuda-kuda yang dirancang oleh penulis, memiliki dua jenis bentuk baja. Yang pertama adalah kuda-kuda baja *monoframe* berjenis WF yang digunakan di bangunan Kantor Pengelola, Penerima, dan *Greenhouse*. Lalu kuda-kuda baja *double angle*. Berikut rekap penggunaan profil baja kuda-kuda:

1. Kantor Pengelola & Penerima : WF 250.125.6.9 ; kolom H 200.200
2. *Greenhouse* : WF 250.125.6.9 ; kolom H 200.200
3. Fasilitas Penunjang : 2L 60x60x6

Untuk Perhitungan Kuda-kuda baja *monoframe* dan *Truss* :

A. Kantor Pengelola

Diketahui data-data gaya dalam seperti yang tertera pada gambar 2.27.

Tabel 2.27 Rekap Gaya dalam Kuda-kuda baja Kantor Pengelola

Story	Brace	Unique Name	Output Case	Case Type	Station mm	P N	V2 N	V3 N	T N-mm	M2 N-mm	M3 N-mm
Story5	D56	470	Comb2	Combination	9912,618221	-29747,87229	14682,15008	0,03881666	-98,39734256	-28,39179411	-23098483,72
Story5	D57	489	Comb2	Combination	9912,618221	-29747,87229	14682,15008	0,03881666	-98,39734256	-28,39179411	-23098483,72
Story5	D56	470	Comb2	Combination	0	-45955,56599	-12330,67276	0,03881666	103,8241851	19,34705652	-22110157,91
Story5	D57	489	Comb2	Combination	0	-45955,56599	-12330,67276	0,03881666	103,8241851	19,34705652	-22110157,91
Story5	D56	470	Comb5	Combination	0	-27094,12808	-11251,37231	0,038472222	103,8241851	19,15495277	-21209991,84

Story	Brace	Unique Name	Output Case	Case Type	Station mm	P N	V2 N	V3 N	T N-mm	M2 N-mm	M3 N-mm
Story5	D56	470	Comb2	Combination	0	-45955,56599	-12330,67276	0,03881666	103,8241851	19,34705652	-22110157,91
Story5	D57	489	Comb2	Combination	0	-45955,56599	-12330,67276	0,03881666	103,8241851	19,34705652	-22110157,91
Story5	D56	470	Comb2	Combination	1200	-45739,63487	-11970,78756	0,03881666	103,8241851	-27,23293535	-7529281,717
Story5	D57	489	Comb2	Combination	1200	-45739,63487	-11970,78756	0,03881666	103,8241851	-27,23293535	-7529281,717
Story5	D56	470	Comb2	Combination	1200	-43936,63595	-8965,789354	0,03881666	102,8425272	-25,59683885	-7529281,717

Story	Brace	Unique Name	Output Case	Case Type	Station mm	P N	V2 N	V3 N	T N-mm	M2 N-mm	M3 N-mm
Story5	D56	470	Comb2	Combination	9912,618221	-29747,87229	14682,15008	0,03881666	-98,39734256	-28,39179411	-23098483,72
Story5	D57	489	Comb2	Combination	9912,618221	-29747,87229	14682,15008	0,03881666	-98,39734256	-28,39179411	-23098483,72
Story5	D56	470	Comb2	Combination	9600	-29804,12563	14588,39452	0,03881666	-98,39734256	-16,25699894	-18523230,93
Story5	D57	489	Comb2	Combination	9600	-29804,12563	14588,39452	0,03881666	-98,39734256	-16,25699894	-18523230,93
Story5	D56	470	Comb3	Combination	9912,618221	-21922,52395	12155,21414	0,038472222	-98,39734256	-28,49761434	-18066504,42

•Data Bahan:

Tegangan leleh baja (F_y) = 240 Mpa

Modulus elastik baja (E) = 200000 Mpa

Poisson ratio (ν) = 0,3

Digunakan profil = WF 250.125.6.9

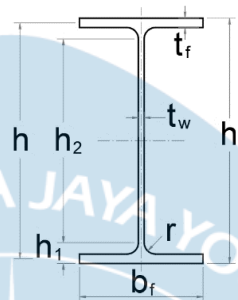
•Data profil baja yang ditunjukkan sesuai gambar 2.36

ht = 250 mm I_x = 40500000 mm⁴

bf = 125 mm I_y = 2940000 mm⁴

tw = 6 mm rx = 104 mm

$$\begin{aligned}
 t_f &= 9 \text{ mm} & r_y &= 27,9 \text{ mm} \\
 r &= 12 \text{ mm} & S_x &= 3240000 \text{ mm}^3 \\
 A &= 3766 \text{ mm}^2 & S_y &= 470000 \text{ mm}^3 \\
 w &= 296 \text{ N/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 2.36 Section properties WF Pengelola

• Section properties seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.37.

$$\begin{aligned}
 G &= 77200 \text{ MPa} \\
 h_1 &= t_f + r = 21 \text{ mm} \\
 h_2 &= h_t - 2h_1 = 208 \text{ mm} \\
 h &= h_t - t_f = 241 \text{ mm} \\
 J &= 2 \times \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3 + \frac{1}{3}(h_t - 2t_f)(t_w^3) = 77454 \text{ mm}^4 \\
 I_w &= I_y \times h_2 / 4 = 4,27E+10 \text{ mm}^6 \\
 X_1 &= p / S_x \times \sqrt{[E \times G \times J \times A/2]} = 1455 \text{ MPa} \\
 X_2 &= 4 \times [S_x / (G \times J)]^2 \times I_w / I_y = 0,0170572 \text{ mm}^2/\text{N}^2 \\
 Z_x &= t_w \times h_2^2 / 4 + (b_f - t_w) \times (h_t - t_f) \times t_f = 352000 \text{ mm}^3 \\
 Z_y &= t_f \times b_f^2 / 2 + (h_t - 2 \times t_f) \times t_w^2 / 4 = 72000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Dimana,

G = Modulus Geser

J = Konstanta Puntir Torsi

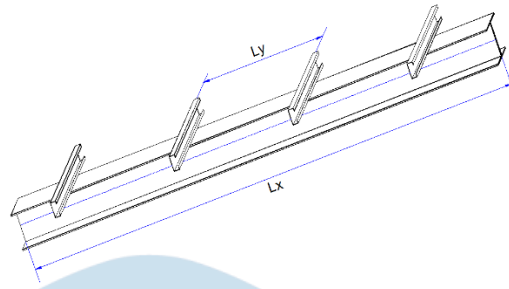
I_w = konstanta puntir lengkung

X_1 = koefisien momen tekuk torsi lateral -1

X_2 = koefisien momen tekuk torsi lateral -2

Z_x = modulus penampang plastis terhadap sumbu x

Z_y = modulus penampang plastis terhadap sumbu x



Gambar 2.37 Detail Kuda-Kuda WF Pengelola

• **Data Balok Kolom (Rafter):**

Panjang elemen sumbu x,	$L_x = 10000 \text{ mm}$
Panjang elemen sumbu y (jarak dukungan lateral),	$L_y = 1200 \text{ mm}$
Momen maksimum akibat beban terfaktor,	$M_u = 23098483,72 \text{ Nmm}$
Gaya aksial akibat beban terfaktor,	$N_u = 45955,56599 \text{ N}$
Gaya geser akibat beban terfaktor,	$V_u = 14682,15008 \text{ N}$
Faktor reduksi kekuatan untuk aksial tekan,	$\phi_n = 0,90$
Faktor reduksi kekuatan untuk lentur,	$\phi_b = 0,90$
Faktor reduksi kekuatan untuk geser,	$\phi_f = 0,90$

• **Perhitungan Kekuatan:**

a. □ Momen Nominal Pengaruh *Local buckling*

➤ Kelangsingan penampang sayap,

$$\lambda = b_f / 2t_f = 6,944$$

➤ Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *Compact*,

$$\lambda_p = 0,38 / \sqrt{E/f_y} = 10,973$$

➤ Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-Compact*,

$$\lambda_r = \sqrt{E / f_y} = 28,86$$

Maka, $\lambda < \lambda_p$ dan $\lambda < \lambda_r$ (*Compact*)

➤ Kelangsingan penampang badan,

$$\lambda = h / t_w = 34,67$$

➤ Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *Compact*,

$$\lambda_p = 3,76 / \sqrt{E/f_y} = 108,54$$

➤ Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-Compact*,

$$\lambda_r = 5,7 \sqrt{E / f_y} = 164,54$$

Maka, $l < l_p$ dan $l < l_r$ (*Compact*)

Profil *Compact*, maka $M_n = M_p$

Momen plastis, $M_p = f_y \times Z_x = 84480000 \text{ Nmm}$

b. □ Momen Nominal Pengaruh *Lateral buckling*

Panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis,

$$L_p = 1,76 \times r_y / \sqrt{E/f_y} = 1418 \text{ mm}$$

Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral,

$$L_r = 1,95 r_{ts} \times E / 0,7 f_y \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 f_y}{E}\right)^2}} = 1331,75 \text{ mm}$$

Karena $L \leq L_p$, maka tidak terjadi *Local Torsional Buckling* (LTB)

Maka, $M_n = M_p = 84480000 \text{ Nmm}$

c. □ Tahanan Momen Lentur

Momen nominal berdasarkan pengaruh *local buckling* dan *lateral buckling*,

$$M_n = 84.480.000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tahanan momen lentur, } \phi M_n = 76.032.000 \text{ Nmm}$$

d. □ Tahanan Aksial Tekan

Parameter kelangsingan terhadap sumbu x:

$$\frac{L_c x}{r_y} = \frac{10000}{104} = 96,15$$

Parameter kelangsingan terhadap sumbu y:

$$\frac{L_c y}{r_x} = \frac{1200}{27,9} = 43,01$$

Parameter kelangsingan maksimum:

$$\frac{L_c}{r} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$96,15 < 135,97$$

Maka, Tegangan Tekuk $F_{cr} = \left(0,658^{\frac{f_y}{f_e}}\right) f_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} = 213,50$$

$$F_{cr} = 149,93 \text{ MPa}$$

Tahanan Aksial Tekan, $\phi P_n = 0,9 F_{cr} \times A_g = 508156,1 \text{ N}$

e. $\square$ Interaksi Aksial Tekan dan Momen Lentur

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = 0,0904 < 0,2$$

Maka,

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} = 0,349 < 1(OK)$$

f. $\square$ Tahanan Geser

Kontrol tahanan geser nominal pelat badan tanpa pengaku:

$$h_2 / t_w \leq 1,1 \sqrt{k_v E / f_y} \text{ dengan } k_v = 5,34$$

$$34,67 \leq 73,38$$

Tahanan gaya geser nominal,

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w = 216.000 \text{ N}$$

Tahanan Gaya Geser,

$$\phi V_n = 0,9 V_n = 194.400 \text{ N}$$

$$\phi V_n > V_u (14682,15 \text{ N}) (OK)$$

g. $\square$ Interaksi Geser dan Lentur

Elemen yang memikul kombinasi geser dan lentur harus dilakukan kontrol sebagai berikut:

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

$$0,351 \leq 1,375 (OK)$$

B. Kantor Penerima

Diketahui data-data gaya dalam dari *output* ETABS yang ditunjukkan dalam tabel 2.28.

Tabel 2.28 Rekap Gaya dalam Kuda-kuda baja Kantor Penerima

Story	Brace	Unique Name	Output Case	Case Type	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
					m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Story5	D1	14	Comb5	Combination	0	-24,16789621	-12,50097547	0	0	0	-21,21660798
Story5	D1	14	Comb2	Combination	8,798295289	-23,95927058	12,33050676	0	0	0	-20,04843437
Story5	D2	16	Comb2	Combination	8,798295289	-23,95927058	12,33050676	0	0	0	-20,04843437
Story5	D1	14	Comb2	Combination	0	-39,01713269	-12,22035537	0	0	0	-19,58255241
Story5	D2	16	Comb2	Combination	0	-39,01713269	-12,22035537	0	0	0	-19,58255241

Story	Brace	Unique Name	Output Case	Case Type	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
					m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Story5	D1	14	Comb5	Combination	0	-24,16789621	-12,50097547	0	0	0	-21,21660798
Story5	D1	14	Comb2	Combination	0	-39,01713269	-12,22035537	0	0	0	-19,58255241
Story5	D2	16	Comb2	Combination	0	-39,01713269	-12,22035537	0	0	0	-19,58255241
Story5	D1	14	Comb5	Combination	1,1	-23,96675355	-12,17302549	0	0	0	-7,645907452

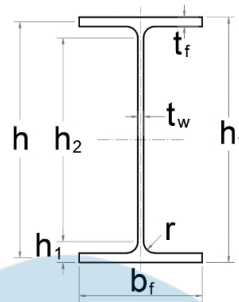
Story	Brace	Unique Name	Output Case	Case Type	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
					m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Story5	D1	14	Comb2	Combination	0	-39,01713269	-12,22035537	0	0	0	-19,58255241
Story5	D2	16	Comb2	Combination	0	-39,01713269	-12,22035537	0	0	0	-19,58255241
Story5	D1	14	Comb2	Combination	1,1	-38,81599003	-11,89240539	0	0	0	-6,32053399
Story5	D2	16	Comb2	Combination	1,1	-38,81599003	-11,89240539	0	0	0	-6,32053399

• Data bahan:

Tegangan leleh baja (F_y) = 240 Mpa
 Modulus elastik baja (E) = 200000 Mpa
Poisson ratio (ν) = 0,3
 Digunakan profil = WF 250.125.6.9

• Data profil baja yang ditunjukkan pada gambar 2.38.

ht = 250 mm Ix = 40500000 mm⁴
 bf = 125 mm Iy = 2940000 mm⁴
 tw = 6 mm rx = 104 mm
 tf = 9 mm ry = 27,9 mm
 r = 12 mm Sx = 3240000 mm³
 A = 3766 mm² Sy = 470000 mm³
 w = 296 N/m



Gambar 2.38 Section properties WF Penerima

•Section properties yang ditunjukkan pada gambar 2.39.

G	$=$	77200	MPa
$h_1 = t_f + r$	$=$	21	mm
$h_2 = h_t - 2h_1$	$=$	208	mm
$h = h_t - t_f$	$=$	241	mm
$J = 2 \times \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3 + \frac{1}{3}(h_t - 2t_f)(t_w^3)$	$=$	77454	mm ⁴
$I_w = I_y \times h_2 / 4$	$=$	4,27E+10	mm ⁶
$X_1 = p / S_x \times \sqrt{[E \times G \times J \times A/2]}$	$=$	1455	MPa
$X_2 = 4 \times [S_x / (G \times J)]^2 \times I_w / I_y$	$=$	0,0170572	mm ² /N ²
$Z_x = t_w \times h_t^2 / 4 + (b_f - t_w) \times (h_t - t_f) \times t_f$	$=$	352000	mm ³
$Z_y = t_f \times b_f^2 / 2 + (h_t - 2 \times t_f) \times t_w^2 / 4$	$=$	72000	mm ³

Dimana,

G = Modulus Geser

J = Konstanta Puntir Torsi

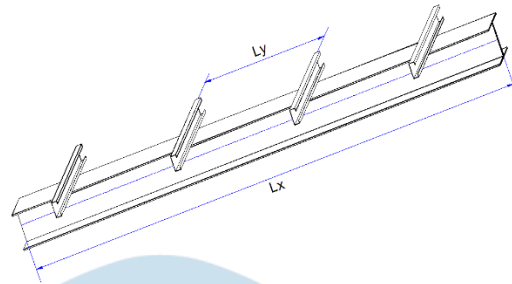
I_w = konstanta puntir lengkung

X_1 = koefisien momen tekuk torsi lateral -1

X_2 = koefisien momen tekuk torsi lateral -2

Z_x = modulus penampang plastis terhadap sumbu x

Z_y = modulus penampang plastis terhadap sumbu x



Gambar 2.39 Detail Kuda-Kuda WF Pengelola

• **Data Balok Kolom (Rafter):**

Panjang elemen sumbu x,	$L_x = 8800 \text{ mm}$
Panjang elemen sumbu y (jarak dukungan lateral),	$L_y = 1100 \text{ mm}$
Momen maksimum akibat beban terfaktor,	$M_u = 21216607,98 \text{ Nmm}$
Gaya aksial akibat beban terfaktor,	$N_u = 39017,13269 \text{ N}$
Gaya geser akibat beban terfaktor,	$V_u = 12500,97547 \text{ N}$
Faktor reduksi kekuatan untuk aksial tekan,	$\phi_n = 0,90$
Faktor reduksi kekuatan untuk lentur,	$\phi_b = 0,90$
Faktor reduksi kekuatan untuk geser,	$\phi_f = 0,90$

• **Perhitungan Kekuatan:**

a. $\square$ Momen Nominal Pengaruh *Local buckling*

- Kelangsingan penampang sayap,

$$\lambda = b_f / 2t_f = 6,944$$
- Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *Compact*,

$$\lambda_p = 0,38 / \sqrt{E / f_y} = 10,973$$
- Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-Compact*,

$$\lambda_r = \sqrt{E / f_y} = 28,86$$

Maka, $\lambda < \lambda_p$ dan $\lambda < \lambda_r$ (**Compact**)
- Kelangsingan penampang badan,

$$\lambda = h / t_w = 34,67$$

- Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *Compact*,

$$\lambda_p = 3,76 / \sqrt{E/f_y} = 108,54$$

- Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-Compact*,

$$\lambda_r = 5,7 \sqrt{E / f_y} = 164,54$$

Maka, $\lambda < \lambda_p$ dan $\lambda < \lambda_r$ (**Compact**)

Profil *Compact*, maka $M_n = M_p$

Momen plastis, $M_p = f_y \times Z_x = 84480000 \text{ Nmm}$

b. ☐ Momen Nominal Pengaruh *Lateral buckling*

Panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis,

$$L_p = 1,76 \times r_y / \sqrt{E/f_y} = 1418 \text{ mm}$$

Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral,

$$L_r = 1,95 r_{ts} \times E / 0,7 f_y \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 f_y}{E}\right)^2}} = 1331,75 \text{ mm}$$

Karena $L \leq L_p$, maka tidak terjadi *Local Torsional Buckling* (LTB)

Maka, $M_n = M_p = 84.480.000 \text{ Nmm}$

c. ☐ Tahanan Momen Lentur

Momen nominal berdasarkan pengaruh *local buckling* dan *lateral buckling*,

$$M_n = 84.480.000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tahanan momen lentur, } \phi M_n = 76.032.000 \text{ Nmm}$$

d. ☐ Tahanan Aksial Tekan

Parameter kelangsingan terhadap sumbu x:

$$\frac{L_c x}{r_y} = \frac{8800}{104} = 84,62$$

Parameter kelangsingan terhadap sumbu y:

$$\frac{L_c y}{r_x} = \frac{1100}{27,9} = 39,43$$

Parameter kelangsingan maksimum:

$$\frac{L_c}{r} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$84,62 < 135,97$$

Maka, Tegangan Tekuk $F_{cr} = \left(0,658^{\frac{f_y}{F_e}}\right) f_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} = 275,70$$

$$F_{cr} = 166,71 \text{ MPa}$$

Tahanan Aksial Tekan, $\phi P_n = 0,9 F_{cr} \times A_g = 565061,3 \text{ N}$

e. ☐ Interaksi Aksial Tekan dan Momen Lentur

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = 0,069 < 0,2$$

Maka,

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} = 0,3136 < 1(OK)$$

f. ☐ Tahanan Geser

Kontrol tahanan geser nominal pelat badan tanpa pengaku:

$$h_2 / t_w \leq 1,1 \sqrt{k_v E / f_y} \text{ dengan } k_v = 5,34$$

$$34,67 \leq 73,38$$

Tahanan gaya geser nominal,

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w = 216.000 \text{ N}$$

Tahanan Gaya Geser,

$$\phi V_n = 0,9 V_n = 194.400 \text{ N}$$

$$\phi V_n > V_u (12500,8 \text{ N}) (OK)$$

g. ☐ Interaksi Geser dan Lentur

Elemen yang memikul kombinasi geser dan lentur harus dilakukan kontrol sebagai berikut:

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

$$0,3192 \leq 1,375 (OK)$$

C. Greenhouse

Diketahui data-data gaya dalam dari *output* ETABS yang tertera pada tabel 2.29.

Tabel 2.29 Rekap Gaya Dalam Kuda-kuda Baja *Greenhouse*

Story	Brace	Unique Name	Output Case	Case Type	Station	P	V2	V3	T	M2	M3	Element	Elem Station	Location
					m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m		m	
Story1	D24	15	Comb 2	Combination	0	-21,2605	-9,2052	0	0	0	-18,2928	15	0	
Story1	D27	13	Comb 2	Combination	0	-21,2605	-9,2052	0	0	0	-18,2928	13	0	
Story1	D24	15	Comb 2	Combination	1,1	-21,1194	-8,8994	0	0	0	-8,3353	15	1,1	Before
Story1	D27	13	Comb 2	Combination	1,1	-21,1194	-8,8994	0	0	0	-8,3353	13	1,1	Before

Story	Brace	Unique Name	Output Case	Case Type	Station	P	V2	V3	T	M2	M3	Element	Elem Station	Location
					m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m		m	
Story1	D24	15	Comb 2	Combination	0	-21,2605	-9,2052	0	0	0	-18,2928	15	0	
Story1	D27	13	Comb 2	Combination	0	-21,2605	-9,2052	0	0	0	-18,2928	13	0	
Story1	D24	15	Comb 2	Combination	1,1	-21,1194	-8,8994	0	0	0	-8,3353	15	1,1	Before
Story1	D27	13	Comb 2	Combination	1,1	-21,1194	-8,8994	0	0	0	-8,3353	13	1,1	Before

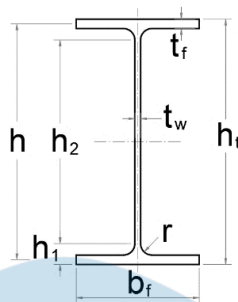
Story	Brace	Unique Name	Output Case	Case Type	Station	P	V2	V3	T	M2	M3	Element	Elem Station	Location
					m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m		m	
Story1	D24	15	Comb 2	Combination	0	-21,2605	-9,2052	0	0	0	-18,2928	15	0	
Story1	D27	13	Comb 2	Combination	0	-21,2605	-9,2052	0	0	0	-18,2928	13	0	
Story1	D24	15	Comb 2	Combination	1,1	-21,1194	-8,8994	0	0	0	-8,3353	15	1,1	Before
Story1	D27	13	Comb 2	Combination	1,1	-21,1194	-8,8994	0	0	0	-8,3353	13	1,1	Before

• ☐ **Data bahan:**

Tegangan leleh baja (F_y) = 240 Mpa
 Modulus elastik baja (E) = 200000 Mpa
 Poisson ratio (ν) = 0,3
 Digunakan profil = WF 250.125.6.9

• ☐ **Data profil baja yang ditunjukkan pada gambar 2.40.**

ht = 250 mm Ix = 40500000 mm⁴
 bf = 125 mm Iy = 2940000 mm⁴
 tw = 6 mm rx = 104 mm
 tf = 9 mm ry = 27,9 mm
 r = 12 mm Sx = 3240000 mm³
 A = 3766 mm² Sy = 470000 mm³
 w = 296 N/m



Gambar 2.40 Section properties WF Greenhouse

• □ **Section properties** seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.41.

G	$=$	77200	MPa
$h_1 = t_f + r$	$=$	21	mm
$h_2 = h_t - 2h_1$	$=$	208	mm
$h = h_t - t_f$	$=$	241	mm
$J = 2 \times \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3 + \frac{1}{3}(h_t - 2t_f)(t_w^3)$	$=$	77454	mm ⁴
$I_w = I_y \times h_2 / 4$	$=$	4,27E+10	mm ⁶
$X_1 = p / S_x \times \sqrt{[E \times G \times J \times A/2]}$	$=$	1455	MPa
$X_2 = 4 \times [S_x / (G \times J)]^2 \times I_w / I_y$	$=$	0,0170572	mm ² /N ²
$Z_x = t_w \times h_2^2 / 4 + (b_f - t_w) \times (h_t - t_f) \times t_f$	$=$	352000	mm ³
$Z_y = t_f \times b_f^2 / 2 + (h_t - 2 \times t_f) \times t_w^2 / 4$	$=$	72000	mm ³

Dimana,

G = Modulus Geser

J = Konstanta Puntir Torsi

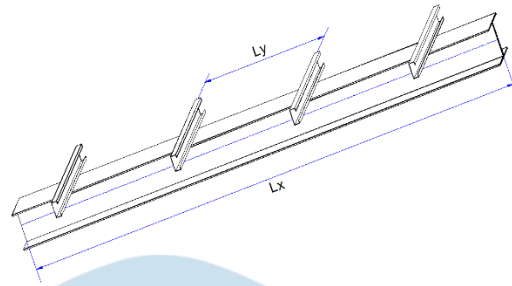
I_w = konstanta puntir lengkung

X_1 = koefisien momen tekuk torsi lateral -1

X_2 = koefisien momen tekuk torsi lateral -2

Z_x = modulus penampang plastis terhadap sumbu x

Z_y = modulus penampang plastis terhadap sumbu x

Gambar 2.41 Detail Kuda-Kuda WF *Greenhouse*

• **Data Balok Kolom (Rafter):**

Panjang elemen sumbu x,	$L_x = 7200 \text{ mm}$
Panjang elemen sumbu y (jarak dukungan lateral),	$L_y = 1100 \text{ mm}$
Momen maksimum akibat beban terfaktor,	$M_u = 18292,8 \text{ Nmm}$
Gaya aksial akibat beban terfaktor,	$N_u = 21260,5 \text{ N}$
Gaya geser akibat beban terfaktor,	$V_u = 9205,2 \text{ N}$
Faktor reduksi kekuatan untuk aksial tekan,	$\phi_n = 0,90$
Faktor reduksi kekuatan untuk lentur,	$\phi_b = 0,90$
Faktor reduksi kekuatan untuk geser,	$\phi_f = 0,90$

• **Perhitungan Kekuatan**

a. **Momen Nominal Pengaruh *Local buckling***

- Kelangsingan penampang sayap,

$$\lambda = b_f / 2t_f = 6,944$$
- Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *Compact*,

$$\lambda_p = 0,38 / \sqrt{E / f_y} = 10,973$$
- Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-Compact*,

$$\lambda_r = \sqrt{E / f_y} = 28,86$$

Maka, $\lambda < \lambda_p$ dan $\lambda < \lambda_r$ (**Compact**)
- Kelangsingan penampang badan,

$$\lambda = h / t_w = 34,67$$

- Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *Compact*,

$$\lambda_p = 3,76 / \sqrt{E/f_y} = 108,54$$

- Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-Compact*,

$$\lambda_r = 5,7 \sqrt{E / f_y} = 164,54$$

Maka, $\lambda < \lambda_p$ dan $\lambda < \lambda_r$ (**Compact**)

Profil *Compact*, maka $M_n = M_p$

Momen plastis, $M_p = f_y \times Z_x = 84480000 \text{ Nmm}$

b. ☐ Momen Nominal Pengaruh *Lateral buckling*

Panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis,

$$L_p = 1,76 \times r_y / \sqrt{E/f_y} = 1418 \text{ mm}$$

Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral,

$$L_r = 1,95 r_{ts} \times E / 0,7 f_y \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 f_y}{E}\right)^2}} = 1331,75 \text{ mm}$$

Karena $L \leq L_p$, maka tidak terjadi *Local Torsional Buckling* (LTB)

Maka, $M_n = M_p = 84.480.000 \text{ Nmm}$

c. ☐ Tahanan Momen Lentur

Momen nominal berdasarkan pengaruh *local buckling* dan *lateral buckling*,

$$M_n = 84.480.000 \text{ Nmm}$$

Tahanan momen lentur, $\phi_b M_n = 76.032.000 \text{ Nmm}$

d. ☐ Tahanan Aksial Tekan

Parameter kelangsingan terhadap sumbu x:

$$\frac{L_c x}{r_y} = \frac{7200}{104} = 69,23$$

Parameter kelangsingan terhadap sumbu y:

$$\frac{L_c y}{r_x} = \frac{1100}{27,9} = 39,43$$

Parameter kelangsingan maksimum:

$$\frac{L_c}{r} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$69,23 < 135,97$$

Maka, Tegangan Tekuk $F_{cr} = \left(0,658^{\frac{f_y}{f_e}}\right) f_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} = 411,84$$

$$F_{cr} = 188,05 \text{ MPa}$$

Tahanan Aksial Tekan, $\phi P_n = 0,9 F_{cr} \times A_g = 637390,8 \text{ N}$

e. ☐ Interaksi Aksial Tekan dan Momen Lentur

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = 0,0334 < 0,2$$

Maka,

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} = 0,2573 < 1(OK)$$

f. ☐ Tahanan Geser

Kontrol tahanan geser nominal pelat badan tanpa pengaku:

$$h_2 / t_w \leq 1,1 \sqrt{k_v E / f_y} \text{ dengan } k_v = 5,34$$

$$34,67 \leq 73,38$$

Tahanan gaya geser nominal,

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w = 216.000 \text{ N}$$

Tahanan Gaya Geser,

$$\phi V_n = 0,9 V_n = 194.400 \text{ N}$$

$$\phi V_n > V_u (9205,2 \text{ N}) (OK)$$

g. ☐ Interaksi Geser dan Lentur

Elemen yang memikul kombinasi geser dan lentur harus dilakukan kontrol sebagai berikut:

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

$$0,32702 \leq 1,375 (OK)$$

D. Fasilitas Penunjang MAB +6.00 m

Fasilitas penunjang menggunakan sistem rangka *Truss* untuk kuda-kuda, berikut perhitungannya yang berdasarkan gaya dalam yang didapatkan dari *output* ETABS yang tertera pada tabel 2.30.

Tabel 2.30 Rekap Gaya dalam Kuda-kuda baja Fasilitas Penunjang Mushola

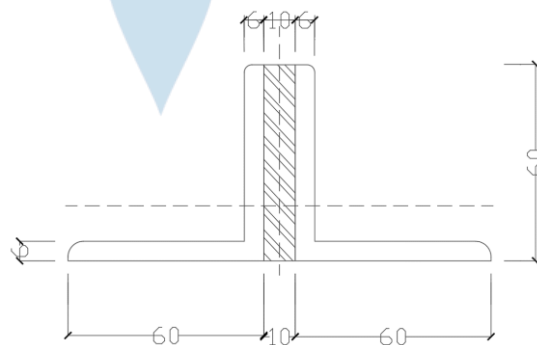
Story	Beam	Output Case	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
			m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	B4	1,2DL+1,6LL	0	15,301	0,077	0	0	0	0
Base	B4	1,2DL+1,6LL	0,6	15,301	0	0	0	0	-0,0231
Base	B4	1,2DL+1,6LL	1,2	15,301	-0,077	0	0	0	0
Base	B4	1,2DL+1,3WT+0,5LL	0	12,5289	0,077	0	0	0	0

Story	Beam	Output Case	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
			m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Story3	D7	1,2DL+1,6LL	0	-4,9856	-0,0706	0	0	0	0
Story3	D7	1,2DL+1,6LL	1,0184	-4,8756	0	0	0	0	0,0359
Story3	D7	1,2DL+1,6LL	2,0369	-4,7656	0,0706	0	0	0	0
Story3	D7	1,2DL+1,3WT+0,5LL	0	-4,5706	-0,0706	0	0	0	0

• Maka didapatkan hasil rekap *output* sebagai berikut,

Batang B4 dan D3 (Eksterior) : Batang Tekan = 18,8584 kN
 : Batang Tarik = 15,301 kN
 Batang D7 dan C2 (Interior) : Batang Tekan = 4,9856 kN
 : Batang Tarik = 8,9302 kN

• Material *Property* Profil 2L 60.60.6 yang ditunjukan pada gambar 2.42.



Gambar 2.42 *Section properties* Fasilitas Penunjang Mushola

$$A = 691 \text{ mm}^2$$

$$I_x = I_y = 227900 \text{ mm}^4$$

$$i_x = i_y = 18,2 \text{ mm}$$

$$C_x = C_y = 17 \text{ mm}$$

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

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

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

$$H = B = 60 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$G = 77200 \text{ Mpa}$$

Perlu dicari,

$$d' = b' = 60 - \left(\frac{6}{2}\right) = 57 \text{ mm}$$

$$j = \frac{(d' + b') \times t^3}{3} = \frac{(57 + 57) \times 6^3}{3} = 8208 \text{ mm}^4$$

$$A_g = 2 \times 691 = 1382 \text{ mm}^2$$

$$I_{xg} = 2 \times 227900 = 455800 \text{ mm}^4$$

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

$$= 227900 + 1382 \left(17 + \frac{12}{2}\right)^2 = 896788 \text{ mm}^4$$

$$r_{xg} = 18,2 \text{ mm}$$

$$r_{yg} = \sqrt{(I_{yg}/A_g)} = \sqrt{\left(\frac{896788}{1382}\right)} = 25,4736 \text{ mm}$$

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

$$y_o = C_y - \frac{t}{2} = 17 + \frac{6}{2} = 14 \text{ mm}$$

$$r_o = \sqrt{\frac{I_{xg} + I_{yg}}{A}} + x_o^2 + y_o^2 = 1174,7178 \text{ mm}^2$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{r_o} = 1 - \frac{0^2 + 14^2}{1174,7178} = 0,8332$$

• **Batang B4 dan D3 (Eksterior)**

Batang Tekan

Tekuk Lentur:

$$\lambda = b/t = 60/6 = 10$$

$$\lambda_r = 0,45 \times \sqrt{(E/F_y)} = 0,45 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 12,9904$$

$\lambda < \lambda_r$, non langsing

Tekuk lentur sumbu (x-x):

$$kL/r_x = \frac{1 \times 1474,7}{18,2} = 81,0275 < 4,71 \times \sqrt{E/F_y} = 4,71 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,966$$

Karena lebih kecil, maka F_{cr} diambil persamaan:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(81,0275)^2} = 300,6525 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = 0,658^{(F_y/F_e)} \times F_y = 0,658^{\frac{240}{300,6525}} \times 240 = 171,8334 \text{ Mpa}$$

Tekuk lentur torsi:

$a = 1474,2 \text{ mm}$; $k_i = 0,5$ (siku saling membelakangi)

$$\frac{a}{r} = \frac{1474,2}{18,2} = 81,0275 > 40, \text{ Pakai } \left(\frac{kL}{r}\right)_m$$

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{kL}{r}\right)^2 + \left(\frac{k_i a}{r_i}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1 \times 1474,2}{18,2}\right)^2 + (0,5 \times 81,075)^2} = 90,59$$

Karena $\left(\frac{kL}{r}\right)_m < 4,71 \sqrt{E/F_y}$, maka F_{cry} diambil persamaan,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)_m^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(90,59)^2} = 240,522 \text{ Mpa}$$

$$F_{cry} = 0,658^{(F_y/F_e)} \times F_y = 0,658^{\frac{240}{240,522}} \times 240 = 171,8334 \text{ Mpa}$$

$$F_{crz} = \frac{G \times j}{A \times r_o} = \frac{77200 \times 8208}{1382 \times 1174,7178} = 390,313 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4x F_{cry} x F_{crz} x H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right) = 144,017 \text{ Mpa}$$

Kekuatan desain:

$F_{cr} = 171,8334 \text{ Mpa}$ (Pemeriksaan tekuk lentur)

$F_{cr} = 144,017 \text{ Mpa}$ (Pemeriksaan lentur torsi)

Pilih, minimal dari $F_{cr} = 144,017 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times F_{cr} \times A_g = 0,9 \times 144,017 \times 1382 = 179128,34 \text{ N} \\ &= 179,1283 \text{ kN} > 18,8584 \text{ kN (Etabs)} \end{aligned}$$

Jadi, batang tekan Aman

Batang Tarik:

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

$$r = 18,2 \text{ mm}$$

$$L/r = \frac{1200}{18,2} = 81,0275 < 300 \text{ (Ok)}$$

Pemeriksaan leleh tarik

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times F_y \times A_g = 0,9 \times 240 \times 1382 = 298512 \text{ N} \\ &= 298,512 \text{ kN} > P_u = 15,301 \text{ kN (Etabs)} \end{aligned}$$

Pemeriksaan putus tarik

$$\phi P_n = 0,75 \times F_u \times A_g = 0,75 \times 370 \times 1382 = 383,505 \text{ kN (Las)}$$

(Ambil minimal)

Maka, batang tarik Aman

• Batang D7 dan C2 (Interior)

Batang Tekan

Tekuk Lentur:

$$\lambda = b/t = 60/6 = 10$$

$$\lambda_r = 0,45 \times \sqrt{(E/F_y)} = 0,45 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 12,9904$$

$\lambda < \lambda_r$, non langsing

Tekuk lentur sumbu (x-x):

$$kL/r_x = \frac{1 \times 2036,9}{18,2} = 111,9176 < 4,71 \times \sqrt{E/F_y} = 4,71 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,966$$

Karena lebih kecil, maka F_{cr} diambil persamaan:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(111,9176)^2} = 157,5916 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = 0,658^{(F_y/F_e)} \times F_y = 0,658^{\frac{240}{157,5916}} \times 240 = 126,8771 \text{ Mpa}$$

Tekuk lentur torsi:

$a = 2036,9 \text{ mm}$; $k_i = 0,5$ (siku saling membelakangi)

$$\frac{a}{r} = \frac{2036,9}{18,2} = 111,9176 > 40, \text{ Pakai } \left(\frac{kL}{r}\right)_m$$

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{kL}{r}\right)^2 + \left(\frac{k_i a}{r_i}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1 \times 2036,9}{18,2}\right)^2 + (0,5 \times 111,9176)^2} = 125,1277$$

Karena $\left(\frac{kL}{r}\right)_m < 4,71 \sqrt{E/F_y}$, maka F_{cry} diambil persamaan,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)_m^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(125,1277)^2} = 126,0732 \text{ Mpa}$$

$$F_{cry} = 0,658^{(F_y/F_e)} \times F_y = 0,658^{\frac{240}{126,0732}} \times 240 = 108,1872 \text{ Mpa}$$

$$F_{crz} = \frac{G \times j}{A \times r_o} = \frac{77200 \times 8208}{1382 \times 1174,7178} = 390,313 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times F_{cry} \times F_{crz} \times H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}}\right) = 102,1476 \text{ Mpa}$$

Kekuatan desain:

$F_{cr} = 126,8771 \text{ Mpa}$ (Pemeriksaan tekuk lentur)

$F_{cr} = 102,1476 \text{ Mpa}$ (Pemeriksaan lentur torsi)

Pilih, minimal dari $F_{cr} = 102,1476 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,9 \times F_{cr} \times A_g = 0,9 \times 102,1476 \times 1382 = 127051,18 \text{ N} \\ &= 127,0512 \text{ kN} > 4,9856 \text{ kN (Etabs)}\end{aligned}$$

Jadi, batang tekan Aman

Batang Tarik:

$$L = 2500 \text{ mm}$$

$$r = 18,2 \text{ mm}$$

$$L/r = \frac{2500}{18,2} = 111,9176 < 300 \text{ (Ok)}$$

Pemeriksaan leleh tarik

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,9 \times F_y \times A_g = 0,9 \times 240 \times 1382 = 298512 \text{ N} \\ &= 298,512 \text{ kN} > P_u = 8,9302 \text{ kN (Etabs)}\end{aligned}$$

Pemeriksaan putus tarik

$$\phi P_n = 0,75 \times F_u \times A_g = 0,75 \times 370 \times 1382 = 383,505 \text{ kN (Ambil minimal)}$$

Maka, batang tarik Aman

E. Fasilitas Penunjang MAB +6.80 m

Fasilitas penunjang menggunakan sistem rangka *Truss* untuk kuda-kuda, berikut perhitungannya berdasarkan gaya dalam hasil *output* ETABS pada tabel 2.31.

Tabel 2.31 Rekap Gaya dalam Kuda-kuda baja Fasilitas Penunjang Kantin

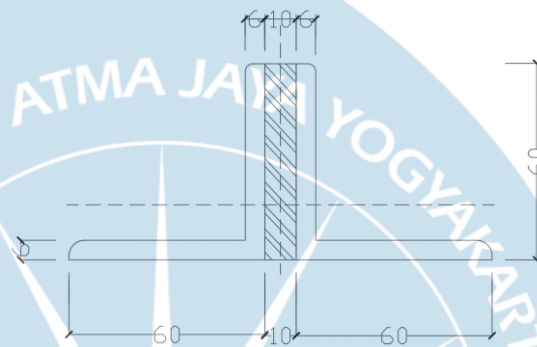
Story	Beam	Output Case	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
			m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	B2	1,2DL+1,6LL	0	16,8112	0,0834	0	0	0	0
Base	B3	1,2DL+1,6LL	0	16,8112	0,0834	0	0	0	0
Base	B1	1,2DL+1,6LL	0	16,8112	0,0834	0	0	0	0
Base	B6	1,2DL+1,6LL	0	16,8112	0,0834	0	0	0	0

Story	Beam	Output Case	Station	P	V2	V3	T	M2	M3
			m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Story3	D8	1,2DL+1,6LL	0	-5,8119	-0,0706	0	0	0	0
Story3	D8	1,2DL+1,6LL	1,4716	-5,6368	0	0	0	0	0,0519
Story3	D8	1,2DL+1,3WT+0,5LL	0	-5,5499	-0,0706	0	0	0	0
Story3	D8	1,2DL+1,6LL	2,9433	-5,4617	0,0706	0	0	0	0
Story3	D8	1,2DL+1,3WT+0,5LL	1,4716	-5,3747	0	0	0	0	0,0519

• □ Maka didapatkan hasil rekap *output* sebagai berikut,

Batang B4 dan D3 (Eksterior)	: Batang Tekan	= 20,579 kN
	: Batang Tarik	= 16,8112 kN
Batang D7 dan C2 (Interior)	: Batang Tekan	= 5,8119 kN
	: Batang Tarik	= 11,4246 kN

• □ **Material Property Profil 2L 60.60.6** yang ditunjukkan pada gambar 2.43.



Gambar 2.43 *Section properties* Fasilitas Penunjang Kantin

$$A = 691 \text{ mm}^2$$

$$I_x = I_y = 227900 \text{ mm}^4$$

$$i_x = i_y = 18,2 \text{ mm}$$

$$C_x = C_y = 17 \text{ mm}$$

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

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

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

$$H = B = 60 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$G = 77200 \text{ Mpa}$$

Perlu dicari,

$$d' = b' = 60 - \left(\frac{6}{2}\right) = 57 \text{ mm}$$

$$j = \frac{(d' + b') \times t^3}{3} = \frac{(57 + 57) \times 6^3}{3} = 8208 \text{ mm}^4$$

$$A_g = 2 \times 691 = 1382 \text{ mm}^2$$

$$I_{xg} = 2 \times 227900 = 455800 \text{ mm}^4$$

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

$$= 227900 + 1382 \left(17 + \frac{12}{2} \right)^2 = 896788 \text{ mm}^4$$

$$r_{xg} = 18,2 \text{ mm}$$

$$r_{yg} = \sqrt{(I_{yg}/A_g)} = \sqrt{\left(\frac{896788}{1382}\right)} = 25,4736 \text{ mm}$$

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

$$y_o = C_y - \frac{t}{2} = 17 + \frac{6}{2} = 14 \text{ mm}$$

$$r_o = \sqrt{\frac{I_{xg} + I_{yg}}{A}} = \sqrt{\frac{0^2 + 14^2}{1382}} = 1174,7178 \text{ mm}^2$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{r_o^2} = 1 - \frac{0^2 + 14^2}{1174,7178} = 0,8332$$

• **Batang D1 dan B2 (Eksterior)**

Batang Tekan

Tekuk Lentur:

$$\lambda = b/t = 60/6 = 10$$

$$\lambda_r = 0,45 \times \sqrt{(E/F_y)} = 0,45 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 12,9904$$

$$\lambda < \lambda_r, \text{ non langsing}$$

Tekuk lentur sumbu (x-x):

$$kL/r_x = \frac{1 \times 1589,6}{18,2} = 87,3407 < 4,71 \times \sqrt{E/F_y} = 4,71 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,966$$

Karena lebih kecil, maka F_{cr} diambil persamaan:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(87,3407)^2} = 258,7596 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = 0,658^{(F_y/F_e)} \times F_y = 0,658^{\frac{240}{258,7596}} \times 240 = 162,7854 \text{ Mpa}$$

Tekuk lentur torsi:

$$a = 1589,6 \text{ mm} ; k_i = 0,5 \text{ (siku saling membelakangi)}$$

$$\frac{a}{r} = \frac{1589,6}{18,2} = 87,3407 > 40, \text{ Pakai } \left(\frac{kL}{r}\right)_m$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{kL}{r}\right)_m &= \sqrt{\left(\frac{kL}{r}\right)^2 + \left(\frac{k_i a}{r_i}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1 \times 1589,6}{18,2}\right)^2 + (0,5 \times 87,3407)^2} \\ &= 97,6498 \end{aligned}$$

Karena $\left(\frac{kL}{r}\right)_m < 4,71\sqrt{E/F_y}$, maka F_{cry} diambil persamaan,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)_m^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(97,6498)^2} = 207,008 \text{ Mpa}$$

$$F_{cry} = 0,658^{(F_y/F_e)} \times F_y = 0,658^{\frac{240}{207,008}} \times 240 = 147,7294 \text{ Mpa}$$

$$F_{crz} = \frac{G \times j}{A \times r_o} = \frac{77200 \times 8208}{1382 \times 1174,7178} = 390,313 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times F_{cry} \times F_{crz} \times H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}}\right) = 135,6721 \text{ Mpa}$$

Kekuatan desain:

$F_{cr} = 162,7854 \text{ Mpa}$ (Pemeriksaan tekuk lentur)

$F_{cr} = 135,6721 \text{ Mpa}$ (Pemeriksaan lentur torsi)

Pilih, minimal dari $F_{cr} = 135,6721 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times F_{cr} \times A_g = 0,9 \times 135,6721 \times 1382 = 168748,958 \text{ N} \\ &= 168,749 \text{ kN} > 20,579 \text{ kN (Etabs)} \end{aligned}$$

Jadi, batang tekan Aman

Batang Tarik:

$$L = 1300 \text{ mm}$$

$$r = 18,2 \text{ mm}$$

$$L/r = \frac{1300}{18,2} = 87,3407 < 300 \text{ (Ok)}$$

Pemeriksaan leleh tarik

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times F_y \times A_g = 0,9 \times 240 \times 1382 = 298512 \text{ N} \\ &= 298,512 \text{ kN} > P_u = 16,8112 \text{ kN (Etabs)} \end{aligned}$$

Pemeriksaan putus tarik

$$\phi P_n = 0,75 \times F_u \times A_g = 0,75 \times 370 \times 1382 = 383,505 \text{ kN (Ambil minimal)}$$

Maka, batang tarik Aman

• **Batang D7 dan C2 (Interior)**

Batang Tekan

Tekuk Lentur:

$$\lambda = b/t = 60/6 = 10$$

$$\lambda_r = 0,45 \times \sqrt{(E/F_y)} = 0,45 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 12,999$$

$$\lambda < \lambda_r, \text{ non langsing}$$

Tekuk lentur sumbu (x-x):

$$kL/r_x = \frac{1 \times 2943,3}{18,2} = 161,7198 > 4,71 \times \sqrt{E/F_y} = 4,71 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,966$$

Karena lebih besar, maka F_{cr} diambil persamaan:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(161,7198)^2} = 75,475 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = 0,877 \times F_e = 0,877 \times 75,475 = 66,1916 \text{ Mpa}$$

Tekuk lentur torsi:

$$a = 2943,3 \text{ mm} ; k_i = 0,5 \text{ (siku saling membelakangi)}$$

$$\frac{a}{r} = \frac{2943,3}{18,2} = 161,7198 > 40, \text{ Pakai } \left(\frac{kL}{r}\right)_m$$

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{kL}{r}\right)^2 + \left(\frac{k_i a}{r_i}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1 \times 2943,3}{18,2}\right)^2 + (0,5 \times 161,7198)^2} = 180,8082$$

Karena $\left(\frac{kL}{r}\right)_m > 4,71 \sqrt{E/F_y}$, maka F_{cry} diambil persamaan,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)_m^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(180,8082)^2} = 60,3801 \text{ Mpa}$$

$$F_{cry} = 0,877 \times F_e = 0,877 \times 60,3801 = 52,9533 \text{ Mpa}$$

$$F_{crz} = \frac{G \times j}{A \times r_o} = \frac{77200 \times 8208}{1382 \times 1174,7178} = 390,313 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times F_{cry} \times F_{crz} \times H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right) = 51,6399 \text{ Mpa}$$

Kekuatan desain:

$$F_{cr} = 66,1916 \text{ Mpa (Pemeriksaan tekuk lentur)}$$

$$F_{cr} = 51,6399 \text{ Mpa (Pemeriksaan lentur torsi)}$$

Pilih, minimal dari $F_{cr} = 51,6399 \text{ Mpa}$

$$\phi P_n = 0,9 \times F_{cr} \times A_g = 0,9 \times 51,6399 \times 1382 = 64229,71 \text{ N}$$

$$= 64,229 \text{ kN} > 5,8119 \text{ kN (Etabs)}$$

Jadi, batang tekan Aman

Batang Tarik:

$$L = 3500 \text{ mm}$$

$$r = 18,2 \text{ mm}$$

$$L/r = \frac{3500}{18,2} = 161,7198 < 300 \text{ (Ok)}$$

Pemeriksaan leleh tarik

$$\phi P_n = 0,9 \times F_y \times A_g = 0,9 \times 240 \times 1382 = 298512 \text{ N}$$

$$= 298,512 \text{ kN} > P_u = 11,4246 \text{ kN (Etabs)}$$

Pemeriksaan putus tarik

$$\phi P_n = 0,75 \times F_u \times A_g = 0,75 \times 370 \times 1382 = 383,505 \text{ kN (Ambil}$$

minimal)

Maka, batang tarik Aman

2.8.3 Perancangan Sambungan Elemen Kuda-Kuda

Perancangan sambungan elemen kuda-kuda yang digunakan pada proyek ini menggunakan sambungan las untuk semua bangunan. Perhitungan elemen sambungan kuda-kuda seperti berikut.

A. Kantor Pengelola

Perencanaan sambungan elemen kuda-kuda digunakan sambungan las dengan data-data sebagai berikut.

- Profil WF 250 × 125 × 6 × 9 dengan dimensi baja sebagai berikut

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

$$t_f = 9 \text{ mm}$$

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

$$b_f = 125 \text{ mm}$$

- Las dengan data sebagai berikut.

$$t_{weld} = 3 \text{ mm}$$

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

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

$$\text{dengan panjang las: } L_{w1} = (2)(125) + (4)(59,5) = 488 \text{ mm}$$

$$L_{w2} = (2)(232) = 464 \text{ mm}$$

$$\text{Total} = 952 \text{ mm}$$

- *Output ETABS*

Atap dimodelkan di *software* ETABS dan diberikan pembebanan seperti yang telah dihitung pada Tabel 2.27 sehingga didapatkan data sebagai berikut.

$$M_u = 2309843,49 \text{ Nmm}$$

$$P_u = 45955,57 \text{ N}$$

$$V_u = 14682,15 \text{ N}$$

1. □ Perhitungan Gaya Geser

$$V_{n1} = \phi (0,6 \cdot F_u \cdot 0,707 \cdot t_{weld} \cdot L_{w1})$$

$$= \phi (0,6 \cdot 370 \cdot 0,707 \cdot 3 \cdot 488)$$

$$= 172335,49 \text{ N}$$

$$V_{n2} = \phi (0,6 \cdot F_u \cdot 0,707 \cdot t_{weld} \cdot L_{w2})$$

$$= \phi (0,6 \cdot 370 \cdot 0,707 \cdot 3 \cdot 464)$$

$$= 163859,98 \text{ N}$$

$$V_{n2} = V_{n1} + V_{n2}$$

$$= 336195,47 \text{ N} > V_u = 14682,15 \text{ N}$$

Sehingga sambungan las aman terhadap geser.

2. □ Perhitungan Momen

$$Z_x = 2 (125 \cdot 3 \cdot 126,5) + 4 (59,5 \cdot 3 \cdot 117,5) + 2 (232 \cdot 3 \cdot 0)$$

$$= 178770 \text{ mm}^3$$

$$M_{n \text{ las}} = f_y \text{ las} \cdot Z_x \text{ las}$$

$$= 240 \times 178770$$

$$= 42904800 \text{ Nmm} = 42,9048 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 42,9048$$

$$= 38,6143 \text{ kNm} > M_u = 23,0985 \text{ kNm}$$

Jadi, sambungan las aman terhadap momen.

3. □ Perencanaan sambungan angkur

Diketahui data-data sebagai berikut.

- Beban kolom dari *output* ETABS

$$P_u = 39517 \text{ N}$$

$$V_u = 33062 \text{ N}$$

$$M_u = 22010230 \text{ Nmm}$$

- Pelat Tumpuan (*baseplate*)

$$\text{Tegangan leleh } (f_y) = 240 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan tarik putus baja } (f_u) = 370 \text{ MPa}$$

$$\text{Lebar pelat tumpu } (B) = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang pelat tumpu } (L) = 200 \text{ mm}$$

- Kolom Pedestal

$$F_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Lebar penampang kolom} = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang penampang kolom} = 400 \text{ mm}$$

- Kolom Baja digunakan profil H-Beam $200 \times 200 \times 8 \times 12$

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

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

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

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

- Angkur baut tipe A-325

$$\text{Tegangan tarik putus } (f_u) = 825 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan leleh } (f_y) = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter angkur} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah angkur pada sisi tarik} = 2 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah angkur pada sisi tekan} = 2 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak baut terhadap pusat kolom} = 45 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang angkur baut dalam beton} = 400 \text{ mm}$$

a. □ Eksentrisitas Beban

$$e = \frac{M_u}{P_u} = 556,98 \text{ mm}$$

$$L/6 = 41,67 \text{ mm} < e \text{ maka aman.}$$

$$h = h_t - t_f = 188 \text{ mm}$$

$$e_t = \frac{F + h}{2} = 139 \text{ mm}$$

$$e_c = \frac{F - h}{2} = 49 \text{ mm}$$

b. □ Tahanan Tumpu Beton

$$P_t = \frac{P_u \times e_c}{e_t} = 13930 \text{ N}$$

$$P_{uc} = P_u + P_t = 25587 \text{ N}$$

$$Y = \frac{3(L - h)}{2} = 93,00 \text{ mm}$$

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

$$A_2 = I \times J = 160000 \text{ mm}^2$$

$$F_{cn} = 1,70 \times f'_c = 42,50 \text{ MPa}$$

$$F_{cn} = 0,85 \times f'_c \times \sqrt{A_2/A_1} = 34 \text{ MPa}$$

Sehingga $F_{cn} = 34 \text{ MPa}$

$$\text{Tegangan tumpu} = \phi F_{cn} = 22,10 \text{ MPa}$$

Tegangan tumpu maksimum yang terjadi pada beton

$$f_{cu} = \frac{2 \times P_{uc}}{Y \times B} = 2,201 \text{ MPa} < \phi f_{cn} = 22,10 \text{ MPa} \text{ (aman)}$$

c. □ Kontrol Dimensi Pelat Tumpuan

$$B_{p \min} = \frac{P_{uc}}{\phi 0,5 (f_{cn} \cdot Y)} = 25 \text{ mm}$$

Lebar pelat yang digunakan adalah sebesar 250 mm

$$\text{Syarat, } B_{p \min} = 25 \text{ mm} < B = 250 \text{ mm} \text{ (aman)}$$

Panjang bagian pelat tumpu jepit bebas

$$a = \frac{L - 0,95h_t}{2} = 30 \text{ mm}$$

$$f_{cu1} = \frac{(1 - a)}{Y} f_{cu} = 1,491 \text{ MPa}$$

$$z = \frac{1}{4} B t^2 = 9000 \text{ mm}^2$$

Momen yang terjadi pada pelat akibat beban terfaktor

$$M_{up} = \frac{1}{2} B F_{cu1} a^2 + \frac{1}{3} B (f_{cu} - f_{cu1}) a^2 = 220987 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tahanan momen nominal pelat} = f_y \times Z_x = 2160000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tahanan momen pelat} = \phi_b \times M_n = 1944000 \text{ Nmm}$$

Syarat: $M_{up} \leq \phi M_n$

$$220987 \leq 1944000 \text{ (aman)}$$

d. □ Gaya Tarik Pada Angkur Baut

$$T_{u1} = \frac{P_t}{n_t} = 6965 \text{ N}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2 = 201 \text{ mm}^2$$

$$\phi T_n = 0,9 \times 0,75 \times A_b \times F_u = 111966 \text{ N (aman)}$$

e. □ Gaya Geser Pada Angkur Baut

$$V_{u1} = V_u / n = 8266 \text{ N}$$

Jumlah penampang geser = 1

$$r_1 = 0,4$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2 = 201 \text{ mm}^2$$

Tahanan geser :

$$\phi f \times r_1 \times m \times A_b \times f_u^b = 49763 \text{ N} \geq 8266 \text{ N (aman)}$$

f. □ Gaya Tumpu Pada Angkur Baut

$$R_{u1} = V_{u1} = 8266 \text{ N}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

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

$$R_n = 2,4 \times d \times t \times f_u = 170496 \text{ N}$$

$$\phi_f R_n = 127872 \text{ N}$$

Syarat

$$R_{u1} = 8266 < \phi_f R_n = 127872 \text{ N (aman)}$$

g. □ Kombinasi Geser dan Tarik

Konstanta tegangan untuk baut mutu tinggi

$$F_1 = 807 \text{ MPa}$$

$$F_2 = 621 \text{ MPa}$$

$$r_2 = 1,9$$

$$F_{uv} = \frac{V_u}{n \times A_b} = 41,11 \text{ MPa}$$

$$\phi F . r_1 . m . f_u^b = 247,50 \text{ MPa}$$

Syarat:

$$F_{uv} = V_u / (n . A_b) \leq \phi r . r_1 . m . f_u^b$$

$$41,11 \leq 247,50 \text{ (aman)}$$

$$T_{u1} = \frac{P_t}{n_t} \leq \phi f . f_1 . A_b$$

$$6965 \text{ N} \leq 121693 \text{ N (aman)}$$

$$F_t = 0,75 . f_u^b \leq (f_1 - r_2) f_{uv}$$

$$618,75 \text{ N} \leq 728,89 \text{ N (aman)}$$

$$F_t \leq F_2$$

$$618,75 \text{ N} \leq 621 \text{ N (aman)}$$

h. □ Kontrol Panjang Angkur Baut

$$L_{min} = \frac{f_y}{(4 \sqrt{f_c'})} d = 320 \text{ mm}$$

Syarat:

$$L_{min} \leq L_a$$

$$320 \leq 400 \text{ (aman)}$$

B. Kantor Penerima

Perencanaan sambungan elemen kuda-kuda digunakan sambungan las dengan data-data sebagai berikut.

- Profil WF 250 × 125 × 6 × 9 dengan dimensi baja sebagai berikut

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

$$t_f = 9 \text{ mm}$$

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

$$b_f = 125 \text{ mm}$$

- Las dengan data sebagai berikut.

$$t_{\text{weld}} = 3 \text{ mm}$$

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

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

$$\text{dengan panjang las: } L_{w1} = (2)(125) + (4)(59,5) = 488 \text{ mm}$$

$$L_{w2} = (2)(232) = 464 \text{ mm}$$

$$\text{Total} = 952 \text{ mm}$$

- *Output ETABS*

Atap dimodelkan di *software* ETABS dan diberikan pembebanan seperti yang telah dihitung pada Tabel 2.28 sehingga didapatkan data sebagai berikut.

$$M_u = 20459400 \text{ Nmm}$$

$$P_u = 39251,5 \text{ N}$$

$$V_u = 12474,2 \text{ N}$$

1. □ Perhitungan Gaya Geser

$$\begin{aligned} V_{n1} &= \phi (0,6 \cdot F_u \cdot 0,707 \cdot t_{\text{weld}} \cdot L_{w1}) \\ &= 0,75 (0,6 \cdot 370 \cdot 0,707 \cdot 3 \cdot 488) \\ &= 172335,49 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{n2} &= \phi (0,6 \cdot F_u \cdot 0,707 \cdot t_{\text{weld}} \cdot L_{w2}) \\ &= 0,75 (0,6 \cdot 370 \cdot 0,707 \cdot 3 \cdot 464) \\ &= 163859,98 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{n2} &= V_{n1} + V_{n2} \\ &= 336195,47 \text{ N} > V_u = 12474,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga sambungan las aman terhadap geser.

2. □ Perhitungan Momen

$$\begin{aligned} Z_x &= 2 (125. 3. 126,5) + 4 (59,5. 3. 117,5) + 2 (232. 3. 0) \\ &= 178770 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n \text{ las}} &= f_{y \text{ las}} \cdot Z_{x \text{ las}} \\ &= 240 \times 178770 \\ &= 42904800 \text{ Nmm} = 42,9048 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 42,9048 \\ &= 38,6143 \text{ kNm} > M_u = 20,4594 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Jadi, sambungan las aman terhadap momen.

3. □ Perhitungan Angkur

Diketahui data-data sebagai berikut.

- Beban kolom dari *output* ETABS
 - $P_u = 35244,4 \text{ N}$
 - $V_u = 27145,4 \text{ N}$
 - $M_u = 20128900 \text{ Nmm}$
- Pelat Tumpuan (*baseplate*)
 - Tegangan leleh (f_y) = 240 MPa
 - Tegangan tarik putus baja (f_u) = 370 MPa
 - Lebar pelat tumpu (B) = 250 mm
 - Panjang pelat tumpu (L) = 250 mm
- Kolom Pedestal
 - F_c' = 25 MPa
 - Lebar penampang kolom = 300 mm
 - Panjang penampang kolom = 300 mm
- Kolom Baja digunakan profil WF 200 × 200 × 8 × 12
 - $t_w = 8 \text{ mm}$
 - $t_f = 12 \text{ mm}$
 - $h_t = 200 \text{ mm}$
 - $b_f = 200 \text{ mm}$

- Angkur baut tipe A-325

Tegangan tarik putus (f_u) = 825 MPa

Tegangan leleh (f_y) = 400 MPa

Diameter angkur = 16 mm

Jumlah angkur pada sisi tarik = 2 buah

Jumlah angkur pada sisi tekan = 2 buah

Jarak baut terhadap pusat kolom = 45 mm

Panjang angkur baut dalam beton = 400 mm

b. □ Eksentrisitas Beban

$$e = \frac{M_u}{P_u} = 571,12 \text{ mm}$$

$$L/6 = 41,67 \text{ mm} < e \text{ maka aman.}$$

$$h = h_t - h_f = 188 \text{ mm}$$

$$e_t = \frac{F + h}{2} = 139 \text{ mm}$$

$$e_c = \frac{F - h}{2} = 49 \text{ mm}$$

c. □ Tahanan Tumpu Beton

$$P_t = \frac{P_u \times e_c}{e_t} = 12424 \text{ N}$$

$$P_{uc} = P_u + P_t = 22820 \text{ N}$$

$$Y = \frac{3(L - h)}{2} = 93,00 \text{ mm}$$

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

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

$$F_{cn} = 1,70 \times f'_c = 42,50 \text{ MPa}$$

$$F_{cn} = 0,85 \times f'_c \times \sqrt{A_2/A_1} = 25,5 \text{ MPa}$$

Sehingga $F_{cn} = 25,5 \text{ Mpa}$

Tegangan tumpu = $\phi F_{cn} = 16,575 \text{ MPa}$

Tegangan tumpu maksimum yang terjadi pada beton

$$f_{cu} = \frac{2 \times P_{uc}}{Y \times B} = 1,963 \text{ MPa} < \phi f_{cn} = 16,575 \text{ MPa} \text{ (aman)}$$

d. □ Kontrol Dimensi Pelat Tumpuan

$$B_{p \min} = \frac{P_{uc}}{\phi 0,5 (f_{cn} \cdot Y)} = 30 \text{ mm}$$

Lebar pelat yang digunakan adalah sebesar 250 mm

Syarat, $B_{p \min} = 30 \text{ mm} < B = 250 \text{ mm}$ (aman)

Panjang bagian pelat tumpu jepit bebas

$$a = \frac{L - 0,95h_t}{2} = 30 \text{ mm}$$

$$f_{cu1} = \frac{(1 - a)}{Y} f_{cu} = 1,330 \text{ MPa}$$

$$z = \frac{1}{4} B t^2 = 9000 \text{ mm}^2$$

Momen yang terjadi pada pelat akibat beban terfaktor

$$M_{up} = \frac{1}{2} B F_{cu1} a^2 + \frac{1}{3} B (f_{cu} - f_{cu1}) a^2 = 197094 \text{ Nmm}$$

Tahanan momen nominal pelat = $f_y \times Z_x = 2160000 \text{ Nmm}$

Tahanan momen pelat = $\phi_b \times M_n = 1944000 \text{ Nmm}$

Syarat: $M_{up} \leq \phi M_n$

$$197094 \leq 1944000 \text{ (aman)}$$

e. □ Gaya Tarik Pada Angkur Baut

$$T_{u1} = \frac{P_t}{n_t} = 6212 \text{ N}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2 = 201 \text{ mm}^2$$

$$\phi T_n = 0,9 \times 0,75 \times A_b \times F_u = 111966 \text{ N} \geq 6212 \text{ N (aman)}$$

f. □ Gaya Geser Pada Angkur Baut

$$V_{u1} = V_u/n = 6786 \text{ N}$$

Jumlah penampang geser = 1

$$r_1 = 0,4$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2 = 201 \text{ mm}^2$$

Tahanan geser :

$$\phi_f \times r_1 \times m \times A_b \times f_u^b = 49763 \text{ N} \geq 6786 \text{ N (aman)}$$

g. □ Gaya Tumpu Pada Angkur Baut

$$R_{u1} = V_{u1} = 6786 \text{ N}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

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

$$R_n = 2,4 \times d \times t \times f_u = 170496 \text{ N}$$

$$\phi_f R_n = 127872 \text{ N}$$

Syarat

$$R_{u1} = 6786 < \phi_f R_n = 127872 \text{ N (aman)}$$

h. □ Kombinasi Geser dan Tarik

Konstanta tegangan untuk baut mutu tinggi

$$F_1 = 807 \text{ MPa}$$

$$F_2 = 621 \text{ MPa}$$

$$r_2 = 1,9$$

$$F_{uv} = \frac{V_u}{n \times A_b} = 33,75 \text{ MPa}$$

$$\phi F \cdot r_1 \cdot m \cdot f_u^b = 247,50 \text{ MPa}$$

Syarat:

$$F_{uv} = V_u/(n \cdot A_b) \leq \phi r \cdot r_1 \cdot m \cdot f_u^b$$

$$33,75 \leq 247,50 \text{ (aman)}$$

$$T_{u1} = \frac{P_t}{n_t} \leq \phi f \cdot f_1 \cdot A_b$$

$$6212 \text{ N} \leq 121693 \text{ N (aman)}$$

$$F_t = 0,75 \cdot f_u^b \leq (f_1 - r_2) f_{uv}$$

$$618,75 \text{ N} \leq 742,87 \text{ N (aman)}$$

$$F_t \leq F_2$$

$$618,75 \text{ N} \leq 621 \text{ N (aman)}$$

i. □ Kontrol Panjang Angkur Baut

$$L_{min} = \frac{f_y}{(4 \sqrt{f_c'})} d = 320 \text{ mm}$$

Syarat:

$$L_{min} \leq L_a$$

$$320 \leq 400 \text{ (aman)}$$

C. Greenhouse

Perencanaan sambungan elemen kuda-kuda digunakan sambungan las dengan data-data sebagai berikut.

- Profil WF 250 × 125 × 6 × 9 dengan dimensi baja sebagai berikut

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

$$t_f = 9 \text{ mm}$$

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

$$b_f = 125 \text{ mm}$$

- Las dengan data sebagai berikut.

$$t_{weld} = 3 \text{ mm}$$

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

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

$$\text{dengan panjang las: } L_{w1} = (2)(125) + (4)(59,5) = 488 \text{ mm}$$

$$L_{w2} = (2)(232) = 464 \text{ mm}$$

$$\text{Total} = 952 \text{ mm}$$

- *Output ETABS*

Atap dimodelkan di *software* ETABS dan diberikan pembebanan seperti yang telah dihitung pada bagian 2.7.1 sehingga didapatkan data sebagai berikut.

$$M_u = 18292800 \text{ Nmm}$$

$$P_u = 21260,5 \text{ N}$$

$$V_u = 9205,2 \text{ N}$$

1. □ Perhitungan Gaya Geser

$$\begin{aligned} V_{n1} &= \phi (0,6 \cdot F_u \cdot 0,707 \cdot t_{weld} \cdot L_{w1}) \\ &= 0,75 (0,6 \cdot 370 \cdot 0,707 \cdot 3 \cdot 488) \\ &= 172335,49 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{n2} &= \phi (0,6 \cdot F_u \cdot 0,707 \cdot t_{weld} \cdot L_{w2}) \\ &= 0,75 (0,6 \cdot 370 \cdot 0,707 \cdot 3 \cdot 464) \\ &= 163859,98 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{n2} &= V_{n1} + V_{n2} \\ &= 336195,47 \text{ N} > V_u = 9205,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga sambungan las aman terhadap geser.

2. □ Perhitungan Momen

$$\begin{aligned} Z_x &= 2 (125 \cdot 3 \cdot 126,5) + 4 (59,5 \cdot 3 \cdot 117,5) + 2 (232 \cdot 3 \cdot 0) \\ &= 178770 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n \text{ las}} &= f_{y \text{ las}} \cdot Z_{x \text{ las}} \\ &= 240 \times 178770 \\ &= 42904800 \text{ Nmm} = 42,9048 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 42,9048 \\ &= 38,6143 \text{ kNm} > M_u = 18,2928 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Jadi, sambungan las aman terhadap momen.

3. □ Perencanaan sambungan angkur

Diketahui data-data sebagai berikut.

- Beban kolom dari *output* ETABS
 - $P_u = 20418,4 \text{ N}$
 - $V_u = 15446,2 \text{ N}$
 - $M_u = 20430500 \text{ Nmm}$
- Pelat Tumpuan (*baseplate*)
 - Tegangan leleh (f_y) = 240 MPa
 - Tegangan tarik putus baja (f_u) = 370 MPa
 - Lebar pelat tumpu (B) = 250 mm
 - Panjang pelat tumpu (L) = 250 mm
 - Tebal pelat tumpu (t) = 12 mm
- Kolom Pedestal
 - $F_c' = 25 \text{ MPa}$
 - Lebar penampang kolom = 300 mm
 - Panjang penampang kolom = 300 mm
- Kolom Baja digunakan profil WF 200 × 200 × 8 × 12
 - $t_w = 8 \text{ mm}$
 - $t_f = 12 \text{ mm}$
 - $h_t = 200 \text{ mm}$
 - $b_f = 200 \text{ mm}$
- Angkur baut tipe A-325
 - Tegangan tarik putus (f_u) = 825 MPa
 - Tegangan leleh (f_y) = 400 MPa
 - Diameter angkur = 16 mm
 - Jumlah angkur pada sisi tarik = 2 buah
 - Jumlah angkur pada sisi tekan = 2 buah
 - Jarak baut terhadap pusat kolom = 45 mm
 - Panjang angkur baut dalam beton = 300 mm

a. □ Eksentrisitas Beban

$$e = \frac{M_u}{P_u} = 1000,59 \text{ mm}$$

$$L/6 = 41,67 \text{ mm} < e \text{ maka aman.}$$

$$h = h_t - h_f = 188 \text{ mm}$$

$$e_t = \frac{F + h}{2} = 139 \text{ mm}$$

$$e_c = \frac{F - h}{2} = 49 \text{ mm}$$

b. □ Tahanan Tumpu Beton

$$P_t = \frac{P_u \times e_c}{e_t} = 7198 \text{ N}$$

$$P_{uc} = P_u + P_t = 13221 \text{ N}$$

$$Y = \frac{3(L - h)}{2} = 93,00 \text{ mm}$$

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

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

$$F_{cn} = 1,70 \times f'_c = 42,50 \text{ MPa}$$

$$F_{cn} = 0,85 \times f'_c \times \sqrt{A_2/A_1} = 25,5 \text{ MPa}$$

Sehingga $F_{cn} = 25,5 \text{ Mpa}$

$$\text{Tegangan tumpu} = \phi F_{cn} = 16,575 \text{ MPa}$$

Tegangan tumpu maksimum yang terjadi pada beton

$$f_{cu} = \frac{2 \times P_{uc}}{Y \times B} = 1,137 \text{ MPa} < \phi f_{cn} = 16,575 \text{ MPa} \text{ (aman)}$$

c. □ Kontrol Dimensi Pelat Tumpuan

$$B_{p \min} = \frac{P_{uc}}{\phi 0,5 (f_{cn} \cdot Y)} = 17 \text{ mm}$$

Lebar pelat yang digunakan adalah sebesar 250 mm

Syarat, $B_{p \min} = 17 \text{ mm} < B = 250 \text{ mm}$ (aman)

Panjang bagian pelat tumpu jepit bebas

$$a = \frac{L - 0,95h_t}{2} = 30 \text{ mm}$$

$$f_{cu1} = \frac{(1 - a)}{Y} f_{cu} = 0,77 \text{ MPa}$$

$$z = \frac{1}{4} B t^2 = 9000 \text{ mm}^2$$

Momen yang terjadi pada pelat akibat beban terfaktor

$$M_{up} = \frac{1}{2} B F_{cu1} a^2 + \frac{1}{3} B (f_{cu} - f_{cu1}) a^2 = 114184 \text{ Nmm}$$

Tahanan momen nominal pelat = $f_y \times Z_x = 2160000 \text{ Nmm}$

Tahanan momen pelat = $\phi_b \times M_n = 1944000 \text{ Nmm}$

Syarat: $M_{up} \leq \phi M_n$

$$114184 \leq 1944000 \text{ (aman)}$$

d. □ Gaya Tarik Pada Angkur Baut

$$T_{u1} = \frac{P_t}{n_t} = 3599 \text{ N}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2 = 113 \text{ mm}^2$$

$$\phi T_n = 0,9 \times 0,75 \times A_b \times F_u = 111966 \text{ N} \geq$$

$$62981 \text{ N (aman)}$$

e. □ Gaya Geser Pada Angkur Baut

$$V_{u1} = V_u / n = 3862 \text{ N}$$

Jumlah penampang geser = 1

$$r_1 = 0,4$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2 = 113 \text{ mm}^2$$

Tahanan geser :

$$\phi f \times r_1 \times m \times A_b \times f_u^b = 27992 \text{ N} \geq 3862 \text{ N (aman)}$$

f. □ Gaya Tumpu Pada Angkur Baut

$$R_{u1} = V_{u1} = 3862 \text{ N}$$

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

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

$$R_n = 2,4 \times d \times t \times f_u = 127872 \text{ N}$$

$$\phi_f R_n = 95904 \text{ N}$$

Syarat

$$R_{u1} = 3862 < \phi_f R_n = 127872 \text{ N (aman)}$$

g. □ Kombinasi Geser dan Tarik

Konstanta tegangan untuk baut mutu tinggi

$$F_1 = 807 \text{ MPa}$$

$$F_2 = 621 \text{ MPa}$$

$$r_2 = 1,9$$

$$F_{uv} = \frac{V_u}{n \times A_b} = 34,14 \text{ MPa}$$

$$\phi F \cdot r_1 \cdot m \cdot f_u^b = 247,50 \text{ MPa}$$

Syarat:

$$F_{uv} = V_u / (n \cdot A_b) \leq \phi r \cdot r_1 \cdot m \cdot f_u^b$$

$$34,14 \leq 247,50 \text{ (aman)}$$

$$T_{u1} = \frac{P_t}{n_t} \leq \phi f \cdot f_1 \cdot A_b$$

$$3599 \text{ N} \leq 68452 \text{ N (aman)}$$

$$F_t = 0,75 \cdot f_u^b \leq (f_1 - r_2) f_{uv}$$

$$618,75 \text{ N} \leq 742,13 \text{ N (aman)}$$

$$F_t \leq F_2$$

$$618,75 \text{ N} \leq 621 \text{ N (aman)}$$

h. □ Kontrol Panjang Angkur Baut

$$L_{min} = \frac{f_y}{(4 \sqrt{f'_c})d} = 320 \text{ mm}$$

Syarat:

$$L_{min} \leq L_a$$

$$320 \leq 400 \text{ (aman)}$$

D. Fasilitas Penunjang MAB +6,8 m

Perencanaan sambungan elemen kuda-kuda digunakan sambungan las dengan data-data sebagai berikut.

- Profil 2L 60 × 60 × 6 dengan dimensi baja sebagai berikut

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

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

$$e = C_y = C_x = 20,6 \text{ mm}$$

$$\Omega = 2$$

- Las dengan data sebagai berikut.

$$E_{70} = F_{EXX} = 485 \text{ Mpa}$$

- Output ETABS

$$P_{u1} = 16811,2 \text{ N}$$

1. □ Perhitungan Kebutuhan Las

Tebal terkecil pelat yang tersambung = 6 mm

Ukuran las (w) = 6-2 = 4 mm

Tebal efektif (t_e) = $0,707 \times 4 = 2,828 \text{ mm}$

2. □ Kuat Rencana Las Sudut per-mm

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times 0,6 \times E_{70} F_{EXX} \times t_e \times 1 \\ &= 0,75 \times 0,6 \times 485 \times 2,828 \times 1 \\ &= 617,211 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

3. □ Kebutuhan Panjang Las Berdasarkan Beban Max

$$\frac{P_u}{\phi R_n} = 27,2374 \text{ mm}$$

4. □ Kuat Tarik Sambungan Las

$$F_1 = \frac{P_u \cdot e}{d} = \frac{16811,2 \times 20,6}{60} = 5771,845 \text{ N}$$

$$F_2 = P_u - F_1 = 11039,355 \text{ N}$$

5. □ Panjang Las Perlu

$$L_{w1} = \frac{F_1}{\phi R_n} = 9,35 \text{ mm} \approx 10 \text{ mm} \times 4 = 40 \text{ mm}$$

$$L_{w2} = \frac{F_2}{\phi R_n} = 17,88 \text{ mm} \approx 20 \text{ mm} \times 3 = 60 \text{ mm}$$

Sehingga panjang kebutuhan las adalah 100 mm

6. □ Kontrol Kuat Tarik Desain

$$\phi R_n \times L_w = 617,211 \times 100 = 61721,1 \text{ N} \times 2 = 123442,2 \text{ N}$$

$$123442,2 \text{ N} \geq P_u = 16811,2 \text{ N} \text{ (aman)}$$

E. Fasilitas Penunjang MAB +6,0 m

Perencanaan sambungan elemen kuda-kuda digunakan sambungan las dengan data-data sebagai berikut.

- Profil 2L 60 × 60 × 6 dengan dimensi baja sebagai berikut

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

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

$$e = C_y = C_x = 20,6 \text{ mm}$$

$$\Omega = 2$$

- Las dengan data sebagai berikut.

$$E_{70} = F_{Exx} = 485 \text{ Mpa}$$

- Output ETABS

$$P_{u1} = 15301 \text{ N}$$

1. □ Perhitungan Kebutuhan Las

Tebal terkecil pelat yang tersambung = 6 mm

Ukuran las (w) = 6-2 = 4 mm

Tebal efektif (t_e) = $0,707 \times 4 = 2,828 \text{ mm}$

2. □ Kuat Rencana Las Sudut per-mm

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times 0,6 \times E_{70} F_{EXX} \times t_e \times 1 \\
 &= 0,75 \times 0,6 \times 485 \times 2,828 \times 1 \\
 &= 617,211 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

3. □ Kebutuhan Panjang Las Berdasarkan Beban Max

$$\frac{P_u}{\phi R_n} = 27,7906 \text{ mm}$$

4. □ Kuat Tarik Sambungan Las

$$F_1 = \frac{P_u \cdot e}{d} = \frac{15301 \times 20,6}{60} = 5253,3433 \text{ N}$$

$$F_2 = P_u - F_1 = 10047,657 \text{ N}$$

5. □ Panjang Las Perlu

$$L_{w1} = \frac{F_1}{\phi R_n} = 9,35 \text{ mm} \approx 10 \text{ mm} \times 4 = 40 \text{ mm}$$

$$L_{w2} = \frac{F_2}{\phi R_n} = 17,88 \text{ mm} \approx 20 \text{ mm} \times 3 = 60 \text{ mm}$$

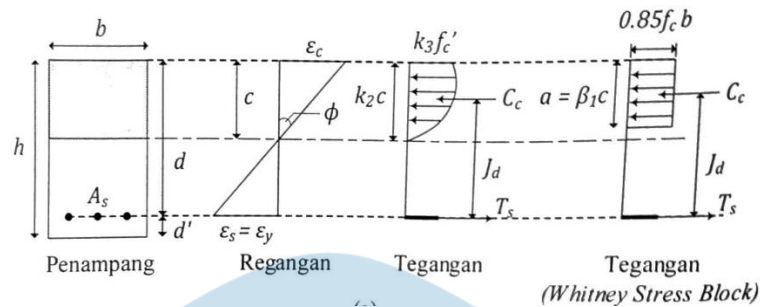
Sehingga panjang kebutuhan las adalah 100 mm

6. □ Kontrol Kuat Tarik Desain

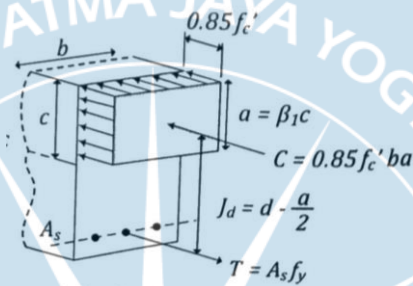
$$\begin{aligned}
 \phi R_n \times L_w &= 617,211 \times 100 = 61721,1 \text{ N} \times 2 = 123442,2 \text{ N} \\
 123442,2 \text{ N} &\geq P_u = 15301 \text{ N (aman)}
 \end{aligned}$$

2.9 Perancangan Balok

Perancangan balok terdiri dari dua bagian utama yaitu perencanaan balok anak hanya untuk bangunan Kantor Pengelola dan balok induk untuk seluruh bangunan yang ada di proyek ini. Perancangan balok anak juga mengacu pada SNI 2847:2019. Dengan perhitungan memperhatikan diagram regangan dan tegangan seperti tertera pada gambar 2.44 dan gambar 2.45



Gambar 2.44 Diagram Regangan & Tegangan *Whitney Stress Block*



Gambar 2.45 Ilustrasi Distribusi Tegangan

Dari ilustrasi yang ada diatas bisa didapatkan persamaan gaya internal balok seperti dibawah ini:

$$C_c = 0.85 \times f'_c \times a \times b$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$C_c = A_s' (f_s' - 0.85 f'_c)$$

Rumus momen nominal balok, yang akan digunakan untuk mencari rumus tinggi blok tegangan persegi ekivalen beton:

$$M_n = C_c (d - a/2) + (d - d') \quad (\text{Subtitusikan } C_c \text{ ke dalam rumun } M_n)$$

Sehingga khusus perhitungan balok untuk tulangan tunggal:

$$M_n = 0.85 \times f'_c \times a \times b (d - a/2)$$

$$M_n = 0.85 f'_c \times a \times b \times d - 0.85 f'_c \times a^2 \times b \times a/2$$

$$\frac{0.85 \times f'_c \times b \times c}{2} \times a^2 - 0.85 f'_c \times d \times b \times a + M_n = 0$$

Didapat rumus tinggi blok tegangan:

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0,85 f' c b}}$$

Rumus garis netral balok sesuai SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1 :

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (\text{untuk nilai } \beta_1 \text{ dapat dilihat di SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3})$$

Penentuan faktor reduksi kekuatan untuk struktur yang mengalami lentur dan aksial dapat dilihat pada tabel 2.26 (SNI 2847:2019 pada tabel 21.2.2) yang tertera pada tabelo 2.32 di bawah ini.

Tabel 2.32 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) Untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial

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

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

Agar faktor reduksi kekuatan (ϕ) menjadi 0,9 (terkendali Tarik), maka nilai a harus dibatasi dengan regangan baja tarik terluar ϵ_s minimum = 0,005

$$c_{\max} = \frac{\epsilon_{c \max}}{\epsilon_c + \epsilon_{s \min}} \times d \quad ; \text{ dengan } \epsilon_{c \max} = 0,003 ; \epsilon_{s \min} = 0,005$$

$$c_{\max} = 0,375 d$$

Kontrol regangan tulangan balok induk:

$$\epsilon_s = \frac{0,003 (d-c)}{c} = \dots > 0,005 \text{ (terkendali tarik); jika } \epsilon_s < 0,004 \text{ (desain tul.rangkap)}$$

Hitung luas perlu tulangan balok anak yang diperlukan:

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad ; \text{ bila } c < c_{\max}$$

Hitung luas perlu tulangan balok induk yang diperlukan:

$$A_s = \frac{0,85 F'_c \cdot a \cdot b}{f_y}$$

Dengan luas tulangan:

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2$$

Dengan syarat luasan minimum dan maksimum sebagai berikut:

$$A_{min\ 1} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b d \quad (\text{sebagai syarat balok induk SRPMK})$$

$$A_{min\ 2} = \frac{1,4}{f_y} b d$$

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

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}}$$

$A_s\ min > A_s\ use$ gunakan $A_s\ min$

$A_s\ use > A_s\ max$ gunakan $A_s\ max$

$A_s\ min < A_s\ use < A_s\ max$ gunakan $A_s\ use$

Perencanaan Tulangan geser telah dihitung di masing-masing balok anak maupun balok induk secara runtut, dan contoh untuk contoh perhitungan balok anak maupun balok induk sebagai berikut:

2.9.1 Perancangan Balok Anak

Diketahui data-data sebagai berikut:

F'_c	= 25 MPa
F_y tul. Utama	= 420 MPa
F_y tul. sengkang	= 280 MPa
Sel. Beton	= 40 mm
D. tul. utama	= 19 mm
D. tul. sengkang	= 10 mm
Dimensi Balok	= 250 mm × 450 mm

Tinggi bersih balok (d) = $450 - 40 - 10 - (19/2) = 390,5 \text{ mm}$

Diketahui *output* dari ETABS sebesar:

V_u Tumpuan (-) = 126,3295 kN

V_u Lapangan (+) = 87,9913 kN

M_u Tumpuan (-) = -164,4261 kNm

M_u Lapangan (+) = 94,6 kNm

• **Perencanaan Tulangan Longitudinal Tumpuan**

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

$$= 390,5 - \sqrt{(390,5)^2 - \frac{2(164,4261 \times 10^6)}{(0,9)(0,85)(25)(0,25)}}$$

$$= 101,172 \text{ mm}$$

Karena nilai $f'_c = 25 \text{ MPa}$ maka $\beta_1 = 0,85$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 119,0259 \text{ mm}$$

$$c_{\max} = 0,375 d = 146,438 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 1279,7051 \text{ mm}^2$$

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2 = 283,5287 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap A_{smin} dan A_{smax}

$$A_{min} = \frac{1,4}{f_y} b d = 325,4167 \text{ mm}^2$$

$$A_{max} = \frac{0,36 \beta_1 f'_c b d}{f_y} = 1778,1696 \text{ mm}^2$$

$A_{smin} < A_{suse} < A_{smax}$ sehingga digunakan A_s use

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}} = 4,5135 \approx 5 \text{ buah tulangan}$$

Pada area tumpuan digunakan 5 buah tulangan diameter 19 mm (5D19)

- **Perencanaan Tulangan Longitudinal Lapangan**

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

$$= 390,5 - \sqrt{(390,5)^2 - \frac{2(94,6 \times 10^6)}{(0,9)(0,85)(25)(0,25)}} = 54,4758 \text{ mm}$$

Karena nilai $F'_c = 25 \text{ MPa}$ maka $\beta_1 = 0,85$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 64,0774 \text{ mm}$$

$$c_{max} = 0,375 d = 146,438 \text{ mm}$$

Karena $C < C_{max}$ maka

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 688,9271 \text{ mm}^2$$

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2 = 283,5287 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap A_{smin} dan A_{smax}

$$A_{min} = \frac{1,4}{f_y} b d = 325,4167 \text{ mm}^2$$

$$A_{max} = \frac{0,36 \beta_1 f'_c b d}{f_y} = 1778,1696 \text{ mm}^2$$

$A_{smin} < A_{suse} < A_{smax}$ sehingga digunakan A_s use

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}} = 2,4298 \approx 3 \text{ buah tulangan}$$

Pada area lapangan digunakan 3 buah tulangan diameter 19 mm (3D19)

- **Perencanaan Tulangan Geser Tumpuan**

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ &= (0,75) 0,17 (1) \sqrt{25} (250) (390,5) \\ &= 62235,9375 \text{ N} = 62,2359 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{126,3295 - (0,75)(0)}{(0,75)} = 85,4581 \text{ kN}\end{aligned}$$

Diasumsikan digunakan sengkang 2 kaki dengan diameter 10 mm

Sehingga nilai A_v adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}A_v &= n \frac{\pi}{4} d^2 = 78,5398 \text{ mm}^2 \\ S &= \frac{A_v f_y t d}{V_s} = 200,9767 \text{ mm} > \frac{390,5}{2} = 195,25\end{aligned}$$

Sehingga digunakan spasi tulangan sengkang 2D10-100 mm

- **Perencanaan Tulangan Geser Lapangan**

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ &= (0,75) 0,17 (1) \sqrt{25} (250) (390,5) \\ &= 62235,9375 \text{ N} = 62,2359 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{87,9913 - (0,75)(0)}{(0,75)} = 34,3405 \text{ kN}\end{aligned}$$

Diasumsikan digunakan sengkang 2 kaki dengan diameter 10 mm

Sehingga nilai A_v adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}A_v &= n \frac{\pi}{4} d^2 = 78,5398 \text{ mm}^2 \\ S &= \frac{A_v f_y t d}{V_s} = 500,1411 \text{ mm} > \frac{390,5}{2} = 195,25\end{aligned}$$

Sehingga digunakan spasi tulangan sengkang 2D10-140 mm

Berikut adalah rekapan balok anak di Gedung Kantor Pengelola yang tertera pada tabel 2.33, 2.34, 2.35.

Tabel 2.33 Rekap Balok Anak Gedung Kantor Pengelola Tipe BA1

BA 250 x 450	
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan	5D19
Longitudinal Lapangan	3D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D10-100
Sengkang Lapangan	2D10-140

Tabel 2.34 Rekap Balok Anak Gedung Kantor Pengelola Tipe BA2

BA 250 x 350	
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan	4D19
Longitudinal Lapangan	2D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D10-100
Sengkang Lapangan	2D10-140

Tabel 2.35 Rekap Balok Anak Gedung Kantor Pengelola (Bordes)

BA 250 x 350 Bordes	
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan	3D19
Longitudinal Lapangan	2D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D10-100
Sengkang Lapangan	2D10-140

2.9.2 Perancangan Balok Induk

Diketahui data-data sebagai berikut:

F'_c	= 25 MPa
F_y tul. Utama	= 420 MPa
F_y tul. sengkang	= 280 MPa
Sel. Beton	= 40 mm
D. tul. utama	= 19 mm
D. tul. sengkang	= 10 mm

Dimensi Balok = 300 mm × 450 mm

Dimensi Kolom = 400 mm × 400 mm

Tinggi bersih balok (d) = 450-40-10-(19/2) = 390,5 mm

Bentang Balok = 7000 mm

Bentang Bersih Balok = 6600 mm

Diketahui *output* dari ETABS sebesar

Vu Tumpuan (-) = -188,5416 kN

Vu Lapangan (+) = 177,9633 kN

Mu Tumpuan (-) = -236,6196 kNm

Mu Tumpuan (+) = 176,8326 kNm

Mu Lapangan (-) = -206,1465 kNm

Mu Lapangan (+) = 190,6133 kNm

Vg_ki = 149,3432 kN

Vg_ka = 141,5332 kN

• **Perencanaan Tulangan Longitudinal Tumpuan (-)**

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0,85 f'c b}}$$

$$= 390,5 - \sqrt{(390,5)^2 - \frac{2(236,6196 \times 10^6)}{(0,9)(0,85)(25)(0,25)}}$$

$$= 125,91 \text{ mm}$$

Karena nilai $F'c = 25 \text{ MPa}$ maka $\beta_1 = 0,85$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 148,13 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,003 (d - c)}{c} = \frac{0,003(390,5 - 148,13)}{148,13} = 0,005 > 0,005$$

(terkendali tarik)

$$A_s = \frac{0,85 F'c \cdot a \cdot b}{f_y} = 1911,134 \text{ mm}^2$$

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2 = 283,5287 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap A_{smin} dan A_{smax}

$$A_{min\ 1} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} b d = 348,66\ mm^2$$

$$A_{min\ 2} = \frac{1,4}{f_y} b d = 390,5\ mm^2$$

$$A_{max} = \frac{0,36\ \beta_1 f'c\ b\ d}{f_y} = 2133,80\ mm^2$$

$A_{smin} < A_{suse} < A_{smax}$ sehingga digunakan A_{suse}

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}} = 6,74 \approx 7\ \text{buah tulangan (digunakan 7D19)}$$

Pengecekan spasi tulangan

$$S_1 = \frac{b - 2(\text{sel. beton}) - 2(d.\text{sengkan}) - nD}{n - 1} = 11,67 < 25$$

(tidak aman)

Sehingga pemasangan tulangan longitudinal dilakukan dengan 2 lapis, lapis pertama dengan 5 tulangan dan lapis kedua dengan 2 tulangan.

• **Perencanaan Tulangan Longitudinal Tumpuan (+)**

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi\ 0,85\ f'c\ b}}$$

$$= 390,5 - \sqrt{(390,5)^2 - \frac{2(176,8326 \times 10^6)}{(0,9)(0,85)(25)(0,25)}} = 89,09\ mm$$

Karena nilai $F'c = 25\ MPa$ maka $\beta_1 = 0,85$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 104,81\ mm$$

$$\epsilon_s = \frac{0,003\ (d - c)}{c} = \frac{0,003(390,5 - 148,13)}{148,13} = 0,0082 > 0,005$$

(terkendali tarik)

$$A_s = \frac{0,85\ F'c\ .\ a\ .\ b}{f_y} = 1352,259\ mm^2$$

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2 = 283,5287 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap A_{smin} dan A_{smax}

$$A_{min\ 1} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} b d = 348,66 \text{ mm}^2$$

$$A_{min\ 2} = \frac{1,4}{f_y} b d = 390,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{max} = \frac{0,36 \beta_1 f'c b d}{f_y} = 2133,80 \text{ mm}^2$$

$A_{smin} < A_{suse} < A_{smax}$ sehingga digunakan A_s use

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}} = 4,77 \approx 5 \text{ buah tulangan (digunakan 5D19)}$$

Pengecekan spasi tulangan

$$S_1 = \frac{b - 2(\text{sel. beton}) - 2(d. sengkang) - nD}{n - 1} = 26,25 > 25$$

(aman)

• **Perencanaan Tulangan Longitudinal Lapangan (-)**

$$\begin{aligned} a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{0,85 f'c b}} \\ &= 390,5 - \sqrt{(390,5)^2 - \frac{2(206,1465 \times 10^6)}{(0,9)(0,85)(25)(0,25)}} \\ &= 106,5442 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena nilai $F'c = 25 \text{ MPa}$ maka $\beta_1 = 0,85$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 125,346 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,003 (d - c)}{c} = \frac{0,003(390,5 - 148,13)}{148,13} = 0,0063 > 0,005$$

(terkendali tarik)

$$A_s = \frac{0,85 F'c . a . b}{f_y} = 1617,1888 \text{ mm}^2$$

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2 = 283,5287 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap A_{smin} dan A_{smax}

$$A_{min1} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} b d = 348,66 \text{ mm}^2$$

$$A_{min2} = \frac{1,4}{f_y} b d = 390,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{max} = \frac{0,36 \beta_1 f'c b d}{f_y} = 2133,80 \text{ mm}^2$$

$A_{smin} < A_{suse} < A_{smax}$ sehingga digunakan A_s use

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}} = 5,704 \approx 6 \text{ buah tulangan (digunakan 6D19)}$$

Pengecekan spasi tulangan

$$S_1 = \frac{b - 2(\text{sel. beton}) - 2(d. sengkang) - nD}{n - 1} = 17,2 < 25$$

(tidak aman)

Sehingga pemasangan tulangan longitudinal dilakukan dengan 2 lapis, lapis pertama dengan 4 tulangan dan lapis kedua dengan 2 tulangan.

- **Perencanaan Tulangan Longitudinal Lapangan (+)**

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{0,85 f'c b}}$$

$$= 390,5 - \sqrt{(390,5)^2 - \frac{2(190,6133 \times 10^6)}{(0,9)(0,85)(25)(0,25)}} = 97,16 \text{ mm}$$

Karena nilai $f'c = 25 \text{ MPa}$ maka $\beta_1 = 0,85$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 114,306 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{0,003 (d - c)}{c} = \frac{0,003(390,5 - 148,13)}{148,13} = 0,0072 > 0,005$$

(terkendali tarik)

$$A_s = \frac{0,85 F'c \cdot a \cdot b}{f_y} = 1474,75 \text{ mm}^2$$

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2 = 283,5287 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap A_{smin} dan A_{smax}

$$A_{min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} b d = 348,66 \text{ mm}^2$$

$$A_{min 2} = \frac{1,4}{f_y} b d = 390,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{max} = \frac{0,36 \beta_1 f'c b d}{f_y} = 2133,80 \text{ mm}^2$$

$A_{smin} < A_{suse} < A_{smax}$ sehingga digunakan A_s use

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}} = 5,201 \approx 6 \text{ buah tulangan (digunakan 6D19)}$$

Pengecekan spasi tulangan

$$S_1 = \frac{b - 2(\text{sel. beton}) - 2(d. sengkang) - nD}{n - 1} = 17,2 < 25$$

(tidak aman)

Sehingga pemasangan tulangan longitudinal dilakukan dengan 2 lapis, lapis pertama dengan 4 tulangan dan lapis kedua dengan 2 tulangan.

- **Perencanaan Tulangan Geser Tumpuan dan Lapangan**

Menghitung Momen Probabilitas (M_{pr})

○ □ Tumpuan kiri (-) dengan 7 tulangan (7D19)

$$a_{pr} = \frac{A_s 1,25 f_y}{0,85 f'c b} = 163,446 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{A_{pr}}{2} \right) = 321,736 \text{ kNm}$$

○□ Tumpuan kanan (+) dengan 5 tulangan (5D19)

$$a_{pr} = \frac{A_s \cdot 1,25 \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = 116,747 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{A_{pr}}{2} \right) = 247,189 \text{ kNm}$$

Berikut adalah rekap gaya geser desain balok induk Kantor Pengelola yang tertera pada tabel 2.36.

Tabel 2.36 Rekap Gaya Geser Desain Balok Induk Kantor Pengelola

Menghitung Gaya Geser Desain (Ve)		
Gaya (kN) dan momen (kNm)	Tumpuan kiri	Tumpuan kanan
Mpr (+)	247,189	247,189
Mpr (-)	321,736	321,736
VE	86,201	86,201
VG	149,3432	141,5332
VE_Ki	63,142	227,734
VE-Ka	235,544	55,332

Nilai Vu = 188,5416 kN

Nilai Ve = 235,544 kN

Cek

$$0,5V_u < V_e \text{ maka } V_c = 0$$

$$0,5(188,5416) < 235,544 \text{ maka } V_c = 0$$

$$\phi V_s = V_e - \phi V \times V_c = 235,544 \text{ kN}$$

Diasumsikan tulangan geser memiliki 2 kaki sehingga

$$s = \frac{\phi A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{V_E} = 54,688 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}$$

Spasi minimum

$$\triangleright \square S_1 = \frac{d}{4} = 97,625 \text{ mm}$$

$$\triangleright \square S_2 = 6d_b = 114 \text{ mm}$$

$$\triangleright \square S_3 = 150 \text{ mm}$$

Spasi aman sehingga digunakan 2D10-50 mm pada tulangan geser tumpuan.

Menghitung nilai V_e Lapangan

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

$$V_{e.lap.ki} = 205,290 \text{ kN}$$

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

$$V_{e.lap.ka} = 210,970 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d = 99,578 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 74,684 \text{ kN} < V_{e.lap} \text{ (maka dibutuhkan tul. geser)}$$

$$V_s = \frac{V_{e.lap}}{\phi} - V_c = 181,715 \text{ kN}$$

$$S = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} = 94,516 \text{ mm} > \frac{390,5}{2} = 195,25$$

Sehingga digunakan tulangan geser pada lapangan sebesar 2D10-90 mm.

Berikut adalah rekap balok induk di Gedung Kantor Pengelola Lantai 2 yang tertera pada tabel 2.37 dan 2.38.

Tabel 2.37 Rekap Balok Induk Gedung Kantor Pengelola Lantai 2

Balok (mm ²)	Bentang (m)	Tulangan	Tumpuan (-)	Tumpuan (+)	Lapangan (-)	Lapangan (+)
300 × 450	7	Longitudinal	7D19	5D19	6D19	6D19
		Geser	2D10-50 mm		2D10-90 mm	
300 × 450	6,5	Longitudinal	6D19	3D19	3D19	4D19
		Geser	2D10-50 mm		2D10-100 mm	
300 × 450	5	Longitudinal	4D19	3D19	3D19	3D19
		Geser	2D10-50		2D10-100	
250 × 350	3	Longitudinal	4D19	3D19	3D19	3D19
		Geser	2D10-50		2D10-100	

Berikut adalah rekap balok induk di Gedung Kantor Pengelola (*Ringbalk*):

Tabel 2.38 Rekap Tulangan *Ringbalk* Gedung Kantor Pengelola

Balok (mm ²)	Bentang (m)	Tulangan	Tumpuan (-)	Tumpuan (+)	Lapangan (-)	Lapangan (+)
300 × 450	7	Longitudinal	3D19	3D19	3D19	3D19
		Geser	2D10-50 mm		2D10-150 mm	
300 × 450	6,5	Longitudinal	3D19	3D19	3D19	3D19
		Geser	2D10-50 mm		2D10-150 mm	
300 × 450	5	Longitudinal	3D19	3D19	3D19	3D19
		Geser	2D10-50 mm		2D10-150 mm	
250 × 350	3	Longitudinal	3D19	3D19	3D19	3D19
		Geser	2D10-50 mm		2D10-150 mm	

Berikut adalah rekap balok induk di Gedung Kantor Penerima (*ringbalk*) yang tertera pada tabel 2.39.

Tabel 2.39 Rekap Tulangan *Ringbalk* Gedung Kantor Penerima

Balok (mm ²)	Bentang (m)	Tulangan	Tumpuan (-)	Tumpuan (+)	Lapangan (-)	Lapangan (+)
300 × 450	7,5	Longitudinal	4D19	4D19	3D19	3D19
		Geser	2D10-50 mm		2D10-150 mm	
300 × 450	7	Longitudinal	4D19	4D19	3D19	3D19
		Geser	2D10-50 mm		2D10-150 mm	
300 × 450	5	Longitudinal	4D19	4D19	3D19	3D19
		Geser	2D10-50 mm		2D10-150 mm	
300 × 450	3	Longitudinal	4D19	4D19	3D19	3D19
		Geser	2D10-50 mm		2D10-150 mm	
250 × 350	3	Longitudinal	2D19	2D19	2D19	2D19
		Geser	2D10-50 mm		2D10-150 mm	

Berikut adalah rekap balok induk di Gedung *Greenhouse* (*ringbalk*) yang tertera pada tabel 2.40.

Tabel 2.40 Rekap Tulangan *Ringbalk* Gedung *Greenhouse*

Balok (mm ²)	Bentang (m)	Tulangan	Tumpuan (-)	Tumpuan (+)	Lapangan (-)	Lapangan (+)
250 × 350	5	Longitudinal	3D13	3D13	2D13	2D13
		Geser	2D8-70 mm		2D8-140 mm	
250 × 350	4,5	Longitudinal	2D13	2D13	2D13	2D13
		Geser	2D8-70 mm		2D8-140 mm	
250 × 350	4	Longitudinal	4D13	2D13	2D13	2D13
		Geser	2D8-70 mm		2D8-140 mm	

Berikut adalah rekap balok induk di Gedung Fasilitas Penunjang (*ringbalk*) yang tertera pada tabel 2.41.

Tabel 2.41 Rekap Tulangan *Ringbalk* Gedung Fasilitas Penunjang

Balok (mm ²)	Bentang (m)	Tulangan	Tumpuan (-)	Tumpuan (+)	Lapangan (-)	Lapangan (+)
250 × 450	7	Longitudinal	3D13	2D13	2D13	2D13
		Geser	2D8-50 mm		2D8-100 mm	
250 × 350	5	Longitudinal	3D13	2D13	2D13	2D13
		Geser	2D8-50 mm		2D8-100 mm	
250 × 350	3,5	Longitudinal	3D13	2D13	2D13	2D13
		Geser	2D8-50 mm		2D8-100 mm	
250 × 350	2,5	Longitudinal	2D13	2D13	2D13	2D13
		Geser	2D8-50 mm		2D8-100 mm	
250 × 350	2	Longitudinal	3D13	3D13	2D13	2D13
		Geser	2D8-50 mm		2D8-100 mm	

2.10 Perancangan Kolom SRPMK

Perancangan kolom SRPMK meliputi perencanaan tulangan longitudinal, tulangan transversal, dan perhitungan panjang penyaluran tulangan. Perencanaan tulangan longitudinal didasarkan pada konsep kolom kuat balok lemah (*SCWB: Strong Column Weak Beam*). Perencanaan tulangan longitudinal dilakukan dengan alat bantu perangkat lunak, seperti: ETABS, spColumn, dan Excel. Perancangan kolom secara umum dapat ditentukan dengan cara dimensi terkecil kolom lebih dari atau sama dengan lebar balok.

Beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam perancangan kolom SRPMK yaitu: dimensi penampang terkecil diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri tidak kurang dari 300 mm dan rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak kurang dari 0,4. Berikut Tahapan dalam merancang kolom SRPMK.

1. Perancangan Kolom Longitudinal

A. Kantor Pengelola

- Interior (K1-A):

Direncanakan di lokasi dengan KDS D dengan rekap gaya dalam seperti yang tertera pada tabel 2.42.

Tabel 2.42 Rekap Gaya Dalam Kolom Interior Kantor Pengelola

Loc	Pu	M2	M3
	kN	kNm	kNm
Pu Max	-623.2043	-68.5814	6.1866
Pu Min	23.4205	-39.9821	-8.3304
M2 Max	-302.5092	210.3935	28.3177
M2 Min	-460.1102	-231.2249	1.2166
M3 Max	-562.1807	-13.4118	70.7148
M3 Min	-347.5803	-70.0886	-76.2701

Data Kolom:

b	= 400 mm
h	= 400 mm
t	= 3500 mm
Ø Tul. Longitudinal	= 22 mm
Sel. Beton	= 40 mm
Jumlah Tulangan	= 12 buah
F'c	= 25 MPa
Fy longitudinal	= 420 MPa

Data Sengkang:

Ø Tul. Sengkang	= 13 mm
d	= 400 – 40 – (13/2)
	= 353,3 mm
Fy sengkang	= 280 MPa

Data Balok:

Mnb.Ki (-)	= 228.96 kNm
Mnb.Ka (+)	= 126.992 kNm
Mpr ki	= 286.2 kNm
Mpr ka	= 158.74 kNm
Mprk	= 222.47 kNm

Data SP Column & Etabs:

$$M_{nca} = 331,807388 \text{ kNm}$$

$$M_{ncb} = 268,166667 \text{ kNm}$$

$$P_u = 623,2043 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ tumpuan} = 61,244 \text{ kN}$$

Syarat Dimensi Penampang:

- $B < h$ (Aman)
- $B \geq 300 \text{ mm}$ (Aman)
- $b/h \geq 0,4$ (Aman)

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

$$599,974 \geq 533,928 \text{ (Aman)}$$

Tabel 2.43 Hasil Sp Column Kolom Interior Kantor Pengelola

No	P_u	M_{ux}	ϕM_{nx}	$\phi M_n / M_u$	NA Depth	dt Depth	ϵ_t	ϕ	ϕM_{nx}
1	623.2	-68.58	-251.51	3,667	160	339	0.00335	0.758	-331.807
2	-23.42	-39.98	-241.35	6,036	107	339	0.00648	0.9	-268.166

Menghitung Kuat Geser Perlu

$$V_e = \frac{M_{prc_a} + M_{prc_b}}{l_c} = 143,529 \text{ kN}$$

Nilai V yang digunakan = 143,529 kN

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - 0 = 191372 \text{ N}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt} d} = 1,933442 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Cek: } P_u < 0,3 A_g f_c'$$

$$623204,3 < 1200000$$

Parameter Perhitungan

$$B_c = 320 \text{ mm}$$

$$A_g = 160000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = 102400 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{S b_c} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} = 0,01506$$

$$\frac{A_{sh}}{S b_c} = 4,821429 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{sh}}{S b_c} = 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh}}{S b_c} = 0,008036$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 2,571429 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Sehingga digunakan $\frac{A_{sh}}{s} = 4,821429 \text{ mm}^2/\text{mm}$

2. Tulangan Transversal di daerah sepanjang Lo

$$\text{Asumsi spasi} = 100 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 482,91429 \text{ mm}^2$$

Digunakan diameter 13 mm, luas 1 kaki

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

Sehingga jumlah kaki tul. Transversal: $3,63 \approx 4$ buah

Jadi digunakan 4D13 – 100

Penentuan Spasi Maksimum

$$S_1 = 1/4 \times B = 100 \text{ mm}$$

$$S_2 = 6 \times d_b = 132 \text{ mm}$$

n tulangan = 4 buah tiap sisi

$$x_1 = (400 - 2(40) - 2(13) - \frac{1}{2}(2)(22))/(4-1) = 90,667 \text{ mm}$$

$$h_x = 90,667 \text{ mm}$$

$$S_3 = 186,4444 \text{ mm}$$

Digunakan Spasi 100 mm (Pilih Minimum Spasi)

Kontrol Spasi **Aman**

3. Tulangan Transversal diluar daerah sepanjang L_o

$$V_e = 143,529 \text{ kN}$$

$$V_e = 0,17\sqrt{30}b_wd$$

$$V_c = 131661,5 \text{ N} = 131,6615 \text{ kN}$$

$$V_c \leq V_e \text{ (Dibutuhkan Tulangan Geser)}$$

Jadi, digunakan spasi 150 mm

- Exterior (Tepi/K1-B):

Direncanakan di lokasi dengan KDS D dengan *output* dari ETABS yang tertera pada tabel 2.44.

Diketahui:

Tabel 2.44 Rekap Gaya Dalam Kolom Eksterior Kantor Pengelola

Loc	Pu	M2	M3
	kN	kNm	kNm
Pu Max	-453.6841	101.7114	112.1709
Pu Min	41.8918	-87.1634	-52.405
M2 Max	-28.1798	267.2149	27.3685
M2 Min	-271.5016	-271.073	48.0297
M3 Max	-194.8641	-31.3342	138.5858
M3 Min	-118.3376	17.3893	-136.581

Data Kolom:

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$t = 3500 \text{ mm}$$

$$\varnothing \text{ Tul. Longitudinal} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Sel. Beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = 12 \text{ buah}$$

$$F'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$F_y \text{ longitudinal} = 420 \text{ MPa}$$

Data Sengkang:

$$\begin{aligned}\emptyset \text{ Tul. Sengkang} &= 13 \text{ mm} \\ d &= 400 - 40 - (13/2) \\ &= 353,3 \text{ mm} \\ F_y \text{ sengkang} &= 280 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Data Balok:

$$\begin{aligned}M_{nb.Ki} (-) &= 228.96 \text{ kNm} \\ M_{nb.Ki} (-) &= 126.992 \text{ kNm} \\ M_{pr \text{ ki}} &= 228.96 \text{ kNm} \\ M_{pr \text{ ka}} &= 126.992 \text{ kNm} \\ M_{prk} &= 222.47 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Data SP Column & Etabs:

$$\begin{aligned}M_{nca} &= 384,088 \text{ kNm} \\ M_{ncb} &= 339,7 \text{ kNm} \\ P_u &= 453,6841 \text{ kN} \\ V_u \text{ tumpuan} &= 61,244 \text{ kN}\end{aligned}$$

Syarat Dimensi Penampang:

- $B < h$ (Aman)
- $B \geq 300 \text{ mm}$ (Aman)
- $b/h \geq 0,4$ (Aman)

$$\begin{aligned}\Sigma M_{n_c} &\geq 1,2 \Sigma M_{n_b} \\ 723,788 &\geq 533,928 \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

Perancangan kolom dilakukan menggunakan Sp Column dengan *output* seperti yang tertera pada tabel 2.45.

Tabel 2.45 Hasil Sp Column Kolom Eksterior Kantor Pengelola

No	P_u	M_{ux}	ϕM_{nx}	$\phi M_n / M_u$	NA Depth	dt Depth	ϵ_t	ϕ	ϕM_{nx}
1	453.68	101.71	296.9	2,919	156	339	0.00353	0.773	384.0879
2	-41.89	-87.16	-305.73	3,507	122	339	0.00536	0.9	-339.7

Menghitung Kuat Geser Perlu

$$V_e = \frac{M_{prc_a} + M_{prc_b}}{l_c} = 143,529 \text{ kN}$$

Nilai V yang digunakan = 143,529 kN

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - 0 = 191372 \text{ N}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt}d} = 1,933442 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Cek: $P_u < 0,3 A_g f_c'$

$$453684,1 < 1200000$$

Parameter Perhitungan

$$B_c = 320 \text{ mm}$$

$$A_g = 160000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = 102400 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{Sb_c} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} = 0,01506$$

$$\frac{A_{sh}}{Sb_c} = 4,821429 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{sh}}{Sb_c} = 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh}}{Sb_c} = 0,008036$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 2,571429 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Sehingga digunakan $\frac{A_{sh}}{s} = 4,821429 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Tulangan Transversal di daerah sepanjang L_o

Asumsi spasi = 100 mm

$$A_{sh} = 482,1429 \text{ mm}^2$$

Digunakan diameter 10 mm, luas 1 kaki

$$A_v = 132,7323 \text{ mm}^2$$

Sehingga jumlah kaki tul. Transversal: $3,63 \approx 4$ buah

Jadi digunakan 4D13 – 100

Penentuan Spasi Maksimum

$$S1 = 100 \text{ mm}$$

$$S2 = 132 \text{ mm}$$

n tulangan = 5 buah tiap sisi

$$x1 = (400 - 2(40) - 2(13) - \frac{1}{2}(2)(22))/(5-1) = 68 \text{ mm}$$

$$hx = 136 \text{ mm}$$

$$S3 = 171,333 \text{ mm}$$

Digunakan Spasi 100 mm (Pilih Minimum Spasi)

Kontrol Spasi Aman

Tulangan Transversal diluar daerah sepanjang L_o

$$V_e = 143,529 \text{ kN}$$

$$V_e = 0,17\sqrt{30}b_w d$$

$$V_c = 131661,5 \text{ N} = 131,6615 \text{ kN}$$

$$V_c \leq V_e \text{ (Dibutuhkan Tulangan Geser)}$$

Jadi, digunakan spasi 150 mm

Berikut adalah hasil rekap tulangan kolom untuk Gedung Kantor Pengelola seperti yang tertera pada tabel 2.46.

Tabel 2.46 Rekap Tulangan Kolom Gedung Kantor Pengelola

Tipe	K1-A 400 X 400		K1-B 400 X 400	
Posisi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Tul. Utama	12D22	12D22	16D22	16D22
Sengkang	4D13 - 100	4D13 - 150	4D13 - 100	4D13 - 150
Sel beton	40 mm			
Mutu beton	$F'_c = 25 \text{ mpa}$			
Mutu baja	Longitudinal, BJTS 420; sengkang, BJTS 280			

Berikut adalah hasil rekap tulangan kolom untuk Gedung Kantor Penerima seperti yang tertera pada tabel 2.47.

Tabel 2.47 Rekap Tulangan Kolom Gedung Kantor Penerima

Tipe	K2 300 X 300	
Posisi	Tumpuan	Lapangan
Tul. Utama	8D19	8D19
Sengkang	3D13 - 70	3D13 - 150
Sel beton	40 mm	
Mutu beton	$f'_c = 25 \text{ mpa}$	
Mutu baja	Longitudinal, BJTS 420; sengkang, BJTS 280	

Berikut adalah hasil rekap tulangan kolom untuk Gedung *Greenhouse* seperti yang tertera pada tabel 2.48.

Tabel 2.48 Rekap Tulangan Kolom Gedung *Greenhouse*

Tipe	K1-A 300 X 300		K1-B 300 X 300	
Posisi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Tul. Utama	8D19	8D19	8D16	8D16
Sengkang	3D13 - 70	3D13 - 150	3D13 - 70	3D13 - 150
Sel beton	40 mm			
Mutu beton	$f'_c = 25 \text{ MPa}$			
Mutu baja	Longitudinal, BJTS 420; Sengkang, BJTS 280			

Berikut adalah hasil rekap tulangan kolom untuk Gedung Fasilitas Penunjang seperti yang tertera pada tabel 2.49.

Tabel 2.49 Rekap Tulangan Kolom Fasilitas Penunjang

Tipe	K1 300 X 300	
Posisi	Tumpuan	Lapangan
Tul. Utama	8D19	8D19
Sengkang	3D13 - 70	3D13 - 150
Sel beton	40 mm	
Mutu beton	$f'_c = 25 \text{ Mpa}$	
Mutu baja	Longitudinal, BJTS 420; Sengkang, BJTS 280	

2.11 Perancangan Pelat Lantai

Perancangan pelat lantai terbagi menjadi 2 yakni perancangan pelat lantai 1 arah dan perancangan pelat lantai 2 arah. Penentuan menggunakan pelat lantai 1 arah dan 2 arah berdasar dari rasio panjang sumbu y dan panjang sumbu x (L_y/L_x). Apabila $L_y/L_x \geq 2$, maka beban akan dilimpahkan ke dalam bentang arah pendek sehingga sistem pelat menjadi pelat 1 arah. Sedangkan apabila

$L_y/L_x < 2$, maka seluruh beban akan dilimpahkan ke semua sisinya dan sistem pelat menjadi pelat 2 arah. Perhitungan pelat 1 arah dan 2 arah didasari oleh SNI 2847:2019.

2.11.1 Perancangan Pelat Lantai 1 Arah

Dalam perancangan pelat lantai 1 arah, digunakan momen pendekatan untuk menghitung kebutuhan tulangan. Momen pendekatan dapat dilihat pada SNI 2847:2019 pasal 6.5.2, penentuan momen didasarkan pada lokasi pelat dan kondisi bentang pelat. Setelah mengetahui momen pendekatan yang digunakan, akan dihitung rasio penulangan dan dilanjutkan untuk menghitung kebutuhan luas tulangan sesuai dengan momen yang direncanakan. Selain itu, yang menjadi kontrol dalam kebutuhan luas adalah luas minimum yang dijelaskan lebih lanjut dalam SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1. Setelah penentuan kebutuhan luas maka akan ditentukan tulangan pelat yang digunakan serta menghitung spasi yang akan digunakan.

Diketahui data-data sebagai berikut:

$$L_y = 7 \text{ m}$$

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

$$F'_c = 25 \text{ MPa}$$

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

$$\text{Selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tul.} = 8 \text{ mm}$$

$$DL = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$SDL = 2 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\text{Tebal pelat} = 13 \text{ cm}$$

$$\text{Perhitungan lebar pelat} = 1000 \text{ mm}$$

$$d_s = \text{tebal pelat} - \text{sel. beton} - \frac{D \cdot \text{tul.}}{2} = 130 - 20 - \frac{8}{2} = 106 \text{ mm}$$

Pembebanan Pelat:

$$q_{DL} = \text{tebal pelat} \times b_j. \text{beton} + SDL = 0,13 \times 24 + 2 = 5,12 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{LL} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

$$q_u(1,2DL + 1,6LL) = 1,2 \times 5,12 + 1,6 \times 4,79 = 13,81 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Faktor koefisien} = \frac{1}{10}$$

$$M_u = \text{faktor koefisien} \times q_u \times L_x^2 = \frac{1}{10} \times 13,808 \times 3^2 = 12,4272 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{0,85(25)}{(420)} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4(12,4272 \times 10^6)}{1,7(0,9)(25)(1000)(106)^2}} \right] = 0,003016$$

$$A_s = \rho b d = 0,003016 \times 1000 \times 106 = 319,6804 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 130 = 260 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 8 mm

$$S = \frac{0,25 \pi d^2 b}{A_s} = \frac{0,25 \pi (8)^2 (1000)}{(319,6804)} = 157,2367 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan D8-150 mm

Berikut adalah rekap penulangan pelat 1 arah Kantor Pengelola yang tertera pada tabel 2.50.

Tabel 2.50 Rekap penulangan pelat 1 arah Kantor Pengelola.

Tipe	Pelat 3× 7	Pelat 3× 6,5
Mu	12,4272 kNm	12,4272 kNm
ρ	0,00302	0,00302
As	319,6804 mm ²	319,6804 mm ²
As min	260 mm ²	260 mm ²
S	157,237 mm	157,237 mm
Digunakan	D8-150 mm	D8-150 mm

Berikut adalah rekap penulangan pelat 1 arah Fasilitas Penunjang yang tertera pada tabel 2.51.

Tabel 2. 51 Rekap penulangan pelat 1 arah Fasilitas Penunjang

Tipe	Pelat 2×7	Pelat $2,5 \times 5$	Pelat 2×5
Mu	2,9084 kNm	4,5444 kNm	2,9084 kNm
ρ	0,00069	0,00011	0,0007
As	73,0857 mm ²	114,6436 mm ²	73,0857 mm ²
As min	260 mm ²	260 mm ²	260 mm ²
S	193,329 mm	193,329 mm	193,329 mm
Digunakan	D8-150 mm	D8-150 mm	D8-150 mm

2.11.2 Perancangan Pelat Lantai 2 Arah

Perancangan pelat lantai 2 arah menggunakan metode desain langsung (*Direct Design Method*) yang penentuan momennya berdasarkan pada SNI 2847:2019 pasal 8.10. Perancangan pelat lantai 2 arah akan menahan momen di setiap sisinya sehingga perancangan ini akan menganalisis dari 2 arah untuk kebutuhan tulangannya yakni arah memanjang dan arah memendek.

Diketahui data-data sebagai berikut:

$$F'_c = 25 \text{ MPa}$$

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

$$L_x = 3,5 \text{ m}$$

$$L_y = 3,25 \text{ m}$$

$$\text{Selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tul.} = 10 \text{ mm}$$

$$DL = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$SDL = 2 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\text{Tebal pelat} = 13 \text{ cm}$$

$$\text{Dimensi Balok} = 300 \times 450 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dimensi kolom} = 400 \times 400 \text{ mm}^2$$

Pembebanan Pelat:

$$q_{DL} = \text{tebal pelat} \times b_j \cdot \text{beton} + SDL = 0,13 \times 24 + 2 = 5,12 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{LL} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

$$q_u(1,2DL + 1,6LL) = 1,2 \times 5,12 + 1,6 \times 4,79 = 13,81 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan Momen Pelat

➤ □ Arah Memanjang

$$M_{OL} = \frac{q_u l_2 l_{n1}^2}{8} = \frac{(13,81)(3,25)(3,5 - 0,4)^2}{8} = 53,91 \text{ kNm}$$

➤ □ Arah Melintang:

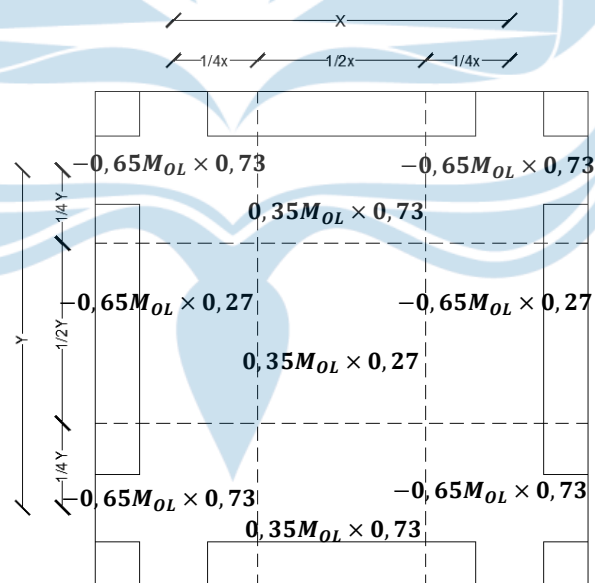
$$M_{OS} = \frac{q_u l_2 l_{n1}^2}{8} = \frac{(13,81)(3,5)(3,25 - 0,4)^2}{8} = 49,07 \text{ kNm}$$

Koefisien momen:

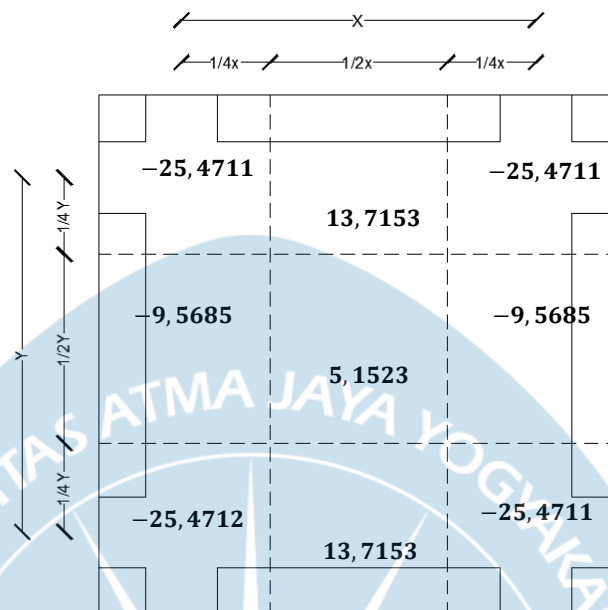
Momen positif: 0,726923 (SNI 2847:2019 Tabel 8.10.5.1)

Momen negatif: 0,726923 (SNI 2847:2019 Tabel 8.10.5.5)

Berdasarkan koefisien distribusi untuk bentang ujung maka untuk mencari nilai Mu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.46 dan 2.47.



Gambar 2.46 Ilustrasi Momen Arah Memanjang Pelat



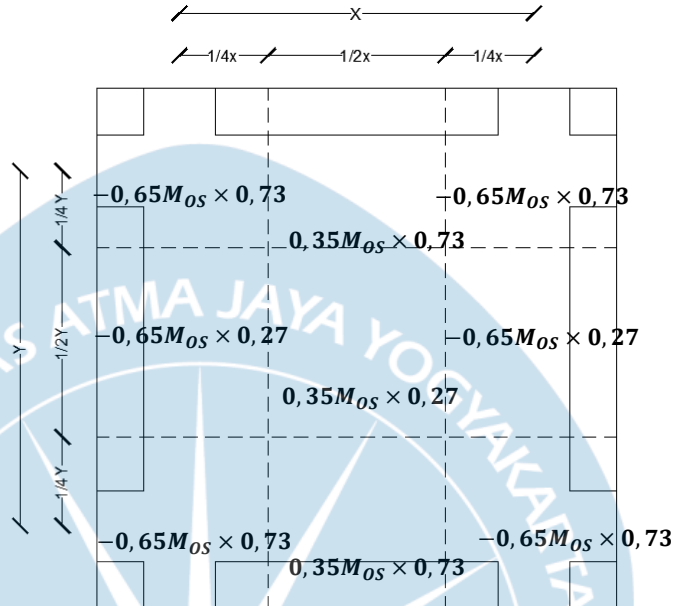
Gambar 2.47 Nilai Momen Arah Memanjang Pelat

Dengan nilai koefisien distribusi balok = 0,85 (SNI 2847:2019 Tabel 8.10.5.7.1) didapatkan Rekap momen arah memanjang pelat yang tertera pada tabel 2.52.

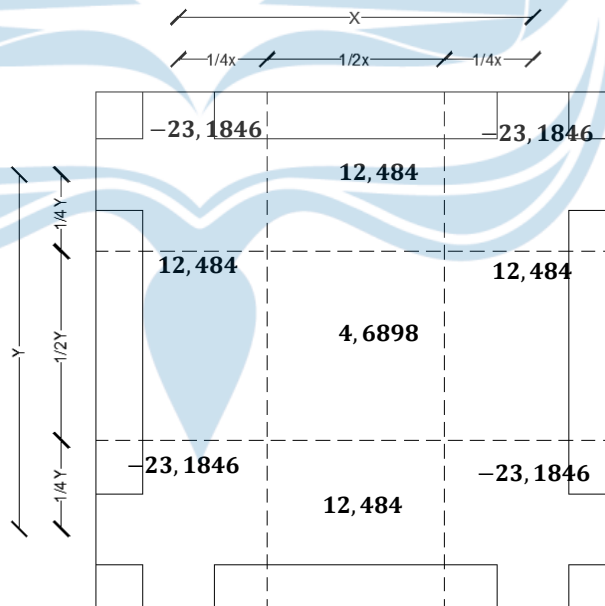
Tabel 2.52 Rekap Momen Balok dan Pelat Arah Memanjang

Rekap	Negatif (kNm)	Positif (kNm)
Momen Balok	21,65	11,66
Momen Pelat	3,82	2,06
$\sum$ M Balok + Pelat	25,47	13,72
Momen Lajur Tengah	9,57	5,15

- □ Arah Memendek dengan momen seperti pada gambar 2.48 dan 2.49.



Gambar 2.48 Ilustrasi Momen Arah Memendek Pelat



Gambar 2.49 Nilai Momen Arah Memendek Pelat

Dengan nilai koefisien distribusi balok = 0,85 (SNI 2847:2019 Tabel 8.10.5.7.1), didapatkan Rekap momen arah memanjang pelat yang tertera pada tabel 2.53.

Tabel 2.55 Rekap Penulangan Pelat $3,5 \times 2,5$ m Kantor Pengelola

Pelat $3,5 \times 2,5$ m	Arah Memanjang				Arah Memendek			
	Lajur Tepi		Lajur Tengah		Lajur Tepi		Lajur Tengah	
	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif
Mu (kNm)	1,84	0,99	7,21	3,88	1,18	0,64	4,25	2,49
ρ	0,00043	0,00023	0,0017	0,00092	0,00028	0,00015	0,00101	0,00059
As (mm ²)	46,16	24,81	183,09	97,80	29,61	15,92	107,08	62,62
As min (mm ²)	260	260	260	260	260	260	260	260
S (mm)	193,33	193,33	193,33	193,33	193,33	193,33	193,33	193,33
Digunakan	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150

Tabel 2.56 Rekap Penulangan Pelat $3,5 \times 3,5$ m Kantor Pengelola

Pelat $3,5 \times 3,5$ m	Arah Memanjang				Arah Memendek			
	Lajur Tepi		Lajur Tengah		Lajur Tepi		Lajur Tengah	
	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif
Mu (kNm)	2,83	1,53	6,30	3,39	2,83	1,53	10,17	3,39
ρ	0,00067	0,00036	0,0015	0,0008	0,00067	0,00036	0,00245	0,0008
As (mm ²)	71,19	38,21	159,52	85,29	71,19	38,21	260,16	85,29
As min (mm ²)	260	260	260	260	260	260	260	260
S (mm)	193,33	193,33	193,33	193,33	193,33	193,33	193,21	193,33
Digunakan	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150

Tabel 2.57 Rekap Penulangan Pelat $4 \times 3,25$ m Kantor Pengelola

Pelat $4 \times 3,5$ m	Arah Memanjang				Arah Memendek			
	Lajur Tepi		Lajur Tengah		Lajur Tepi		Lajur Tengah	
	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif
Mu (kNm)	3,90	2,10	10,78	5,80	3,31	1,78	11,87	4,92
ρ	0,00093	0,0005	0,0026	0,00139	0,00078	0,00042	0,00288	0,00117
As (mm ²)	98,31	52,71	276,05	146,82	83,19	44,64	305	124,16
As min (mm ²)	260	260	260	260	260	260	260	260
S (mm)	193,33	193,33	182,09	193,33	193,33	193,33	164,80	193,33
Digunakan	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150

Dengan Perhitungan yang sama didapatkan jumlah tulangan pelat pada fasilitas penunjang yang tertera pada tabel 2.58, 2.59, dan 2.60.

Tabel 2.58 Rekap Penulangan Pelat $5 \times 3,5$ m Fasilitas Penunjang

Pelat $5 \times 3,5$ m	Arah Memanjang				Arah Memendek			
	Lajur Tepi		Lajur Tengah		Lajur Tepi		Lajur Tengah	
	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif
Mu (kNm)	3,83	2,06	15,56	8,38	2,54	1,37	9,11	5,55
ρ	0,00097	0,00052	0,00408	0,00216	0,00064	0,00035	0,00235	0,00142
As (mm ²)	102,311	54,855	428,1355	226,27	67,54	36,26	246,428	148,79
As min (mm ²)	260	260	260	260	260	260	260	260
S (mm)	193,329	193,329	118,616	193,329	193,329	193,329	193,329	193,329
Digunakan	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150

Tabel 2.59 Rekap Penulangan Pelat $2 \times 3,5$ m Fasilitas Penunjang

Pelat $2 \times 3,5$ m	Arah Memanjang				Arah Memendek			
	Lajur Tepi		Lajur Tengah		Lajur Tepi		Lajur Tengah	
	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif
Mu (kNm)	0,86	0,46	5,17	2,79	0,42	0,23	1,52	1,38
ρ	0,00021	0,000114	0,00129	0,000693	0,000104	0,000056	0,000377	0,000341
As (mm ²)	22,516	11,113	137,216	73,164	11,109	5,979	39,9836	36,163
As min (mm ²)	260	260	260	260	260	260	260	260
S (mm)	193,328	193,328	193,328	193,328	193,328	193,328	193,328	193,328
Digunakan	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150

Tabel 2.60 Rekap Penulangan Pelat $2 \times 2,5$ m Fasilitas Penunjang

Pelat $2 \times 2,5$ m	Arah Memanjang				Arah Memendek			
	Lajur Tepi		Lajur Tengah		Lajur Tepi		Lajur Tengah	
	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif	Momen Negatif	Momen Positif
Mu (kNm)	0,52	0,28	1,67	0,90	0,39	0,21	1,40	0,67
ρ	0,00012	0,000069	0,000415	0,000723	0,000096	0,000052	0,000346	0,000166
As (mm ²)	13,67	7,35	44,006	23,65	10,201	5,491	36,708	17,644
As min (mm ²)	260	260	260	260	260	260	260	260
S (mm)	193,329	193,329	193,329	193,329	193,329	193,329	193,329	193,329
Digunakan	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150

2.12 Perancangan Tangga

Perencanaan tangga yang dirancang ini berada di bangunan kantor penerima saja, karena memiliki dua tingkat, sedangkan bangunan yang lain hanya satu tingkat saja, berikut urutan perancangan sebuah tangga:

2.12.1 Rencana Pembebanan Tangga

Diketahui:

Lebar bordes = 1500 mm

Optrede = 170 mm

Antrede = 300 mm

Tinggi lantai = 3500 mm

Tebal pelat tangga = 130 mm

Berat volume beton = 24 kN/m³

Berat jenis spesi = 21 kN/m³

Beban hidup = 4,79 kN/m²

$$\Rightarrow \square \text{Jumlah anak tangga (n)} = \frac{Het}{o} = \frac{3500}{170} = 21 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \square \text{Lebar tangga (L}_{tg}) &= \left(\frac{1}{2} \times \frac{Het}{o} - 1 \right) A \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 21 - 1 \right) 300 \\ &= 2788 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \square \alpha = \arctan \frac{1}{A} = \arctan \frac{1}{300} = 30^\circ$$

Rencana beban merata pada tangga

$$\Rightarrow \square \text{Berat sendiri tangga} = \frac{htg}{\cos \alpha} \times bj \text{ beton} = \frac{0,13}{\cos 30^\circ} \times 24 = 3,586 \text{ kN/m}^2$$

$$\Rightarrow \square \text{Berat anak tangga} = \frac{1}{2} \times o \times bj \text{ beton} = \frac{1}{2} \times 0,17 \times 24 = 2,040 \text{ kN/m}^2$$

$$\Rightarrow \square \text{Berat ubin dan spesi} = 0,05 \text{ bj ubin} = 0,05 \times 21 = 1,050 \text{ kN/m}^2$$

$$\Rightarrow \square \text{Berat railing} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } q_{tg} &= 7,70 \text{ kN/m}^2 \times 1,5 \text{ m} \\ &= 11,5531 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Rencana beban merata pada bordes

$$\Rightarrow \square \text{Berat sendiri tangga} = htg \times bj \text{ beton} = 0,13 \times 24 = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$\Rightarrow \square \text{Berat ubin dan spesi} = 0,05 \times bj \text{ ubin} = 0,05 \times 21 = 1,050 \text{ kN/m}^2$$

$$\Rightarrow \square \text{Berat railing} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } q_{tg} &= 5,17 \text{ kN/m}^2 \times 1,5 \text{ m} \\ &= 7,755 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

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

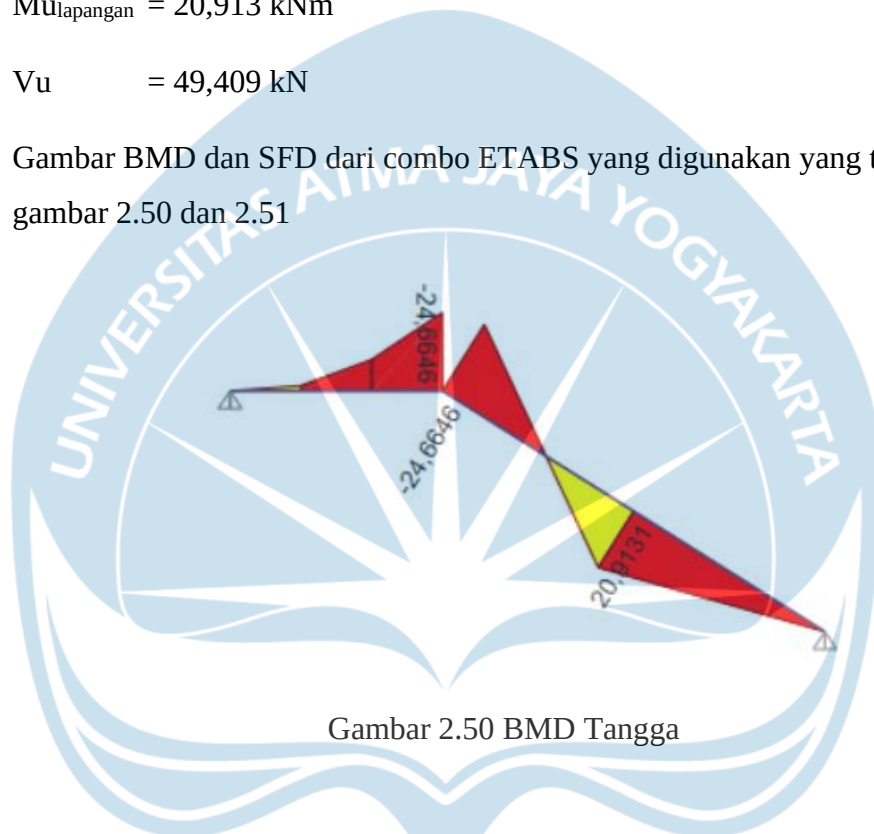
Berdasarkan hasil pembebanan ETABS didapatkan hasil sebagai berikut.

$M_{\text{tumpuan}} = 24,665 \text{ kNm}$

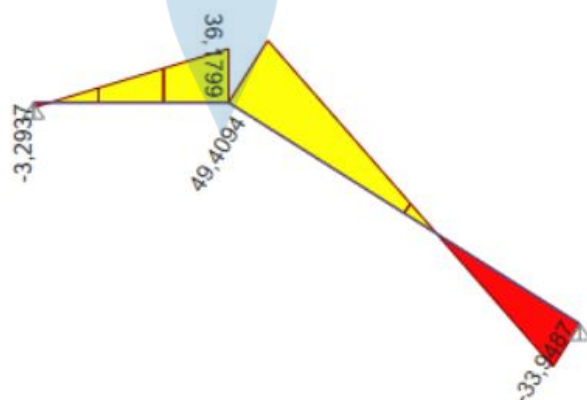
$M_{\text{lapangan}} = 20,913 \text{ kNm}$

$V_u = 49,409 \text{ kN}$

Gambar BMD dan SFD dari combo ETABS yang digunakan yang tertera pada gambar 2.50 dan 2.51



Gambar 2.50 BMD Tangga



Gambar 2.51 SFD Tangga

2.12.2 Rencana Penulangan Tangga

Diameter tulangan pokok = 10 mm

Diameter tulangan susut = 8 mm

Fy tulangan pokok = 420 MPa

Fy tulangan susut = 420 MPa

F'c = 25 Mpa

B = 1000 mm

htg = 130 mm

Selimut beton = 20 mm

b1 = 0,85

ϕ = 0,9

Setelah menentukan material dan ketentuan untuk merancang tangga di atas, maka berikut ini adalah perhitungan penulangan tangga:

a. Tulangan Tumpuan

$$d_s = h_{tg} - \text{selimut beton} - \frac{D. \text{tul.}}{2}$$

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

$$= 105 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{0,85 (25)}{420} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4(24,6646 \times 10^6)}{1,7(0,9)(25)(1000) (10)^2}} \right]$$

$$= 0,006312$$

$$A_{s \min} = 0,002 bh = 0,002 (1000)(130) = 260 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho bd = 0,006312 (1000)(105) = 662,7741 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \pi d^2 b}{A_s} = \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{(662,7741)} = 118,5016 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Sehingga untuk tulangan pokok pada tumpuan digunakan D10-100 mm

Pengecekan terhadap gaya geser

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f'c} \times b \times d \\ &= 0,17 \sqrt{25} \times 1000 \times 105 \\ &= 89,250 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 66,9375 \text{ kN}$$

$$S = \frac{A_{Tul. Susut} \times B}{A_{s min}} = \frac{50,2655 \times 1000}{260} = 193,3288 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Sehingga untuk tulangan susut pada tumpuan digunakan D8-150 mm

b. □ Tulangan Lapangan

$$\begin{aligned} d_s &= h_{tg} - \text{selimut beton} - \frac{D. tul.}{2} \\ &= 130 - 20 - \frac{10}{2} \\ &= 105 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 f'c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4Mu}{1,7\phi f'c b d^2}} \right] \\ &= \frac{0,85 (25)}{420} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4(20,9131 \times 10^6)}{1,7(0,9)(25)(1000) (10)^2}} \right] \\ &= 0,005295 \end{aligned}$$

$$A_{s min} = 0,002 bh = 0,002 (1000)(130) = 260 \text{ mm}^2$$

$$A_{s perlu} = \rho b d = 0,005295(1000)(105) = 556,0069 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \pi d^2 b}{A_s} = \frac{0,25 \pi (10)^2 (1000)}{(556,0069)} = 141,2569 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Sehingga untuk tulangan pokok pada lapangan digunakan D10-100 mm

Pengecekan terhadap gaya geser

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \sqrt{25} \times 1000 \times 105 \\ &= 89,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 65,9813 \text{ kN}$$

$$S = \frac{A_{Tul. Susut} \times B}{A_{s \min}} = \frac{50,2655 \times 1000}{260} = 193,3288 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Sehingga untuk tulangan susut pada lapangan digunakan D8-150 mm

