

BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

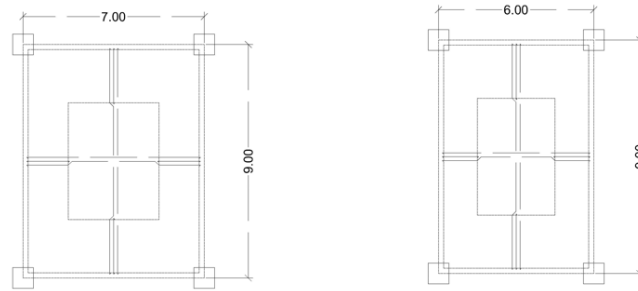
2.1 Perencanaan Sistem Struktur

Sebelum merancang struktur sebuah bangunan gedung, diperlukan pertimbangan sistem struktur yang sesuai dengan panduan dalam SNI 1726:2019. Dalam SNI tersebut, dijelaskan bahwa struktur bangunan gedung beton bertulang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen (RPM) untuk menahan beban lateral maupun beban lain yang bekerja pada struktur. Sistem ini terdiri dari tiga jenis, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Analisis yang dilakukan pada gedung Perpustakaan 5 Lantai di Kalimantan difokuskan pada pemeriksaan struktur beton bertulang untuk setiap lantai bangunan, menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan Kategori Desain Seismik (KDS) D.

2.2 Preliminary Design

Preliminary design diperlukan untuk melakukan perhitungan awal sekaligus memberikan pedoman dasar dalam pemodelan desain. Dalam perancangan Gedung Perpustakaan 5 Lantai Kalimantan, penulis mengacu pada SNI 2847:2019 sebagai standar untuk *preliminary design*. Gedung Perpustakaan 5 Lantai Kalimantan sendiri terdiri atas empat ruang membaca, ruang diskusi dan ruang mengerjakan tugas.

Pada tahap *preliminary design* ini, penulis memberikan salah satu contoh perhitungan yang mencakup elemen pelat, kolom, dan balok. Mengingat *preliminary design* bertujuan menentukan kondisi awal ukuran struktur, proses ini melibatkan pendekatan trial dan error untuk memastikan perhitungan yang valid. Oleh karena itu, hasilnya dapat mengalami revisi dan penyesuaian secara berkelanjutan. Jika jenis pelat yang digunakan sesuai dengan Gambar 2.1, maka:



Gambar 2. 1 Ukuran Pelat Lantai

$$L_y = 9000$$

$$L_x = 7000$$

1. Menentukan Tebal Pelat pada Lantai:

Penentuan ketebalan pelat yang direncanakan mengacu pada pedoman yang terdapat dalam SNI 2847:2019. Untuk pelat dua arah, ketentuan terdapat pada Pasal 8.3.1.2. Berikut ini disajikan contoh perhitungannya:

a. Identifikasi Pelat

$$\text{Type A1 } \frac{l_y}{l_x} = \frac{9000}{7000} = 1 < 2, \text{ maka merupakan jenis pelat 2 arah}$$

$$\text{Type A2 } \frac{l_y}{l_x} = \frac{9000}{6000} = 1 < 2, \text{ maka merupakan jenis pelat 2 arah}$$

b. Menentukan tebal pelat dua arah

$$\begin{aligned} \text{Type A1 } H_{\min} &= \frac{l_n y \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \\ &= \frac{4050 \left(0,8 + \frac{420}{1400}\right)}{36 + 9(1,3279)} \\ &= 92,91 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Type A2 } H_{\min} &= \frac{l_n y \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \\ &= \frac{4050 \left(0,8 + \frac{420}{1400}\right)}{36 + 9(1,3279)} \\ &= 92,91 \text{ mm} \end{aligned}$$

$H_{\min} > 90$ maka diizinkan, sehingga menggunakan tebal pelat 130 mm. hpakai = 130 mm

2. Menentukan Dimensi Balok:

Panjang bentang antara kolom satu dengan kolom lainnya merupakan informasi penting dalam menentukan dimensi balok. Tinggi balok (h) ditentukan berdasarkan panduan dalam SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1, sementara lebar balok ditentukan sesuai dengan ketentuan di Pasal 18.6.2.1. Selain itu, perencanaan balok harus memenuhi persyaratan tambahan yang diatur dalam Pasal 18.6.2.1 SNI 2847:2019. Berikut ini adalah perhitungan balok:

- a. Menentukan tinggi minimum balok

$$h = \frac{L}{18,5} = \frac{9000}{18,5} = 486 \text{ mm}$$

- b. Menentukan lebar minimum balok

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 486 = 324 \text{ mm}$$

- c. Cek dimensi penampang kolom SRPMK

Spesifikasi Material:

Selimut Beton = 40 mm

Diameter Sengkang = 13 mm

Diameter Longitudinal = 25 mm

$$d = 450 - 40 - 10 - \frac{L}{18,5}$$

$$d = 450 - 40 - 10 - \frac{9000}{18,5}$$

$$= -86,486$$

$$1) L_n \geq 4d$$

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

3. Menentukan Dimensi Kolom

Untuk menentukan dimensi kolom yang akan di rancang penulis menggunakan acuan $p = b = (2 \times 50) + b$ balok terbesar (mm) = $(2 \times 50) + 300 = 400$ 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. $B \leq H$
2. Perbandingan $B/H \geq 0,4$
3. Perbandingan $B \geq 300 \text{ mm}$

Karena keseluruhan perhitungan preliminary design memiliki metode yang serupa, dapat disimpulkan bahwa preliminary design Gedung Perpustakaan 5 Lantai di Kalimantan Timur dirangkum sebagaimana tercantum pada Tabel 2.2.

Table 2. 1 Rekapitulasi Preliminary

Rekap Gedung Perpustakaan		
Bentang (L) mm	Dimensi Balok	
	b (mm)	h (mm)
9000	450	750
6000	300	500

2.3 Interpretasi Data Tanah dan Pemeliharaan Kelas Situs

Pengujian Penetrasi Statis ini dilakukan untuk memperoleh data mengenai nilai konus (kg/cm^2) dan daya lekat (kg/cm) pada setiap kedalaman tanah hingga mencapai tanah dengan kepadatan keras (*Hard*), yaitu ketika nilai konus lebih besar dari 150 kg/cm^2 , atau hingga kedalaman maksimum 15,00 meter menggunakan Sondir Manual. Pengujian dihentikan jika kekuatan angker tidak mampu lagi menahan alat sondir atau jika tanah permukaan tidak dapat lagi menahan angker sondir. Hasil dari pengujian tanah yang dilaksanakan untuk Pekerjaan Sondir berdasarkan test sondir kedalaman tanah keras/*Hard* ditunjukkan pada tabel 2.2

Table 2. 2 Nilai N-SPT

Depth (m)	C (qc) kg/cm^2	TF kg/cm
16,400	9,000	338,000
16,600	9,000	347,000
16,800	10,000	357,000
17,000	10,000	367,000
17,200	9,500	376,000
18,000	120,000	436,000

18,200	150,000	556,000
18,400	120,000	616,000
jumlah	437,500	3393,000
rata-rata	54,688	424,125

2.4 Penentuan Sistem Struktur

Berdasarkan SNI 1726:2019, konsep yang diadopsi adalah Konsep Keselamatan Hidup. Konsep ini mengatur bahwa ketika terjadi gempa besar sesuai dengan zona gempa, kerusakan pada struktur dirancang untuk menyesuaikan dengan energi gempa yang terserap oleh struktur. Dengan demikian, meskipun kerusakan struktur akibat gempa mungkin terjadi, bangunan tidak boleh runtuh agar tetap memungkinkan proses evakuasi. Oleh karena itu, diperlukan penentuan parameter tambahan untuk melengkapi data beban gempa dan parameter lainnya, seperti berikut:

1. Penentuan Kategori Risiko

Table 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 - Basar - 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	IV
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.	

Mengacu pada SNI 1726:2019 Tabel 3 tentang kategori risiko bangunan gedung dan nongedung terhadap beban gempa, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.3, bangunan gedung perpustakaan kalimantan timur termasuk

dalam kategori risiko II. Hal ini disebabkan bangunan tersebut berfungsi sebagai gedung perkantoran di area sekolah.

2. Penentuan Faktor Keutamaan Gempa

Table 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 tentang Faktor Keutamaan Gempa, sebagaimana tertera pada Tabel 2.4, bangunan gedung perpustakaan kalimantan timur, termasuk dalam kategori risiko II. Oleh karena itu, faktor keutamaan gempa untuk bangunan tersebut adalah 1,0.

3. Penentuan Klasifikasi Situs

Table 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)		

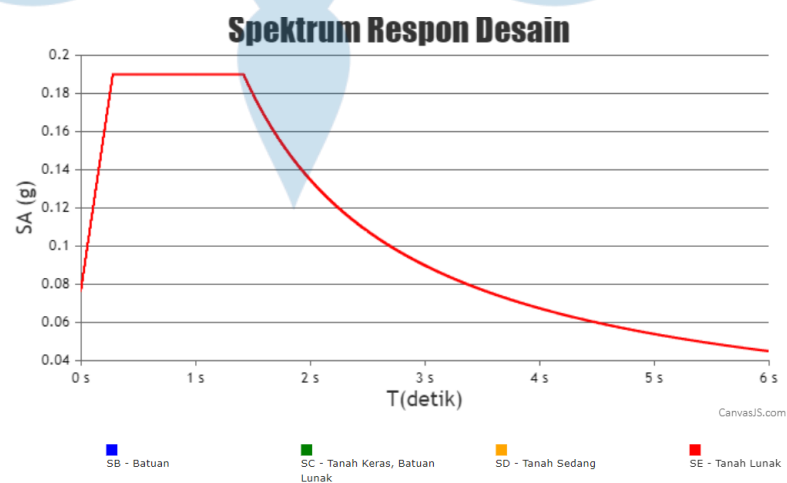
Berdasarkan hasil penyelidikan tanah pada Gedung Perpustakaan 5 Lantai di Kalimantan Timur, diketahui bahwa klasifikasi situs tanahnya termasuk dalam kelas situs SE (Tanah Lunak), sesuai dengan Tabel 2.5 yang tercantum di atas.

4. Penentuan Parameter Respon Spektra

Nama Kota : Balikpapan, Kalimantan Timur
 Bujur / Longitude : 116.85
 Lintang / Latitude : -1.216667

Kelas Situs	: D
PGA	: 0.0603
PGAm	: 0.09045
CR_s	: 0.000000
CR_l	: 0.000000
S_s	: 0,1159 g
S_l	: 0,0799 g
TL	:16
F_a	: 1,4521
F_v	:2,2026
S_{DS}	: 0,19 g
S_{D1}	: 0, 23 g
T_0	: 0,24 detik
T_s	: 1,21 detik
I_e	: 1,50
R	: 8
Ω_0	: 3
C_d	: 5,5

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



Gambar 2. 2 Grafik Respon Spektrum

5. Penentuan Periode Fundamental Gedung

Table 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 mengenai nilai parameter periode pendekatan C_t dan x , sebagaimana tertera pada Tabel 2.6, tipe struktur pada bangunan gedung perpustakaan kalimantan timur adalah rangka beton pemikul beton dengan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$. Penentuan parameter ini digunakan untuk menghitung periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik, serta ketinggian total struktur (h_n), yang harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x$$

6. Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS)

Table 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 mengenai Kategori Desain Seismik, sebagaimana tercantum pada Tabel 2.7, dengan nilai $S_{DS} = 0,736313$ g dan termasuk dalam kategori risiko IV, maka kategori desain seismik untuk bangunan gedung perpustakaan kalimantan timur adalah D.

7. Penentuan Koefisien Modifikasi Respons (R)

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 12 mengenai Faktor R, Cd, dan Ω_o untuk sistem pemikul gaya seismik, sebagaimana tercantum pada Tabel 2.8, sistem pemikul gaya seismik pada bangunan gedung perpustakaan kalimantan timur adalah rangka beton bertulang pemikul momen khusus. Oleh karena itu, nilai yang digunakan adalah $R = 8$, $\Omega_o = 3$, dan $C_d = 5,5$.

Table 2. 8 Faktor R, Cd, 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_s (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D*	E*	F'
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^a	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

2.5 Perencanaan Pembebanan Struktur

Perencanaan pembebanan struktur penting untuk menentukan beban yang akan bekerja ketika gempa terjadi, serta untuk menghitung beban pada setiap lantai guna memperoleh gaya geser seismik selama gempa. Pedoman yang digunakan dalam perencanaan ini adalah SNI 1726:2019.

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

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

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

Setelah menentukan periode fundamental (T_a), langkah selanjutnya adalah menghitung nilai (K), yaitu eksponen yang berkaitan dengan periode struktur, dengan menggunakan rumus yang terdapat dalam SNI 1726:2019 pada pasal 7.8.3, sebagai berikut:

1. $T \leq 0,5$ detik, $K = 1$
2. $T \geq 2,5$ detik, $K = 2$
3. $0,5 < T < 2,5$ detik, $K = 0,5T + 0,75$

Setelah memperoleh beberapa parameter di atas, gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditentukan harus dihitung sesuai dengan persamaan yang terdapat dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1, dengan menggunakan koefisien respons seismik (C_s) dan berat seismik efektif (W), sebagai berikut:

$$V_x = V_y = C_s W$$

Setelah semua parameter diperoleh, gaya seismik lateral, F_x (kN) pada setiap tingkat harus dihitung berdasarkan persamaan yang terdapat dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3, dengan terlebih dahulu menentukan nilai faktor distribusi vertikal (C_{vx}) sebagai berikut:

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_i^n w_i h_i^k}$$

Setelah nilai faktor distribusi vertikal ditemukan, langkah selanjutnya adalah menghitung gaya seismik lateral, F_x , dengan cara berikut:

$$F_x = C_{vx} V$$

Berikut perhitungan untuk bangunan gedung perpustakaan di kalimantan timur:

- Berat satuan lantai

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

$$\text{Pasir} = 0,68 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Keramik} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Plafon, MEP, dll} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{DL} = 5,69 \text{ kN/m}^2$$

- Data Balok

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

$$\text{B1 } 750 \times 450 = 6,696 \text{ kN/m}$$

$$\text{BA1 } 500 \times 350 = 2,664 \text{ kN/m}$$

$$\text{BA2 } 550 \times 350 = 3,024 \text{ kN/m}$$

- Data Kolom

$$\text{K1 } 800 \times 800 = 15,36 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{K1 } 500 \times 500 = 6 \text{ kN/m}^2$$

- Nilai T

$$T_a = 0,0466 \times 20^{0,9} = 0,691 \text{ detik}$$

- Nilai K

$$\begin{aligned} K &= 0,5T + 0,75 \\ &= 0,5 \times 0,691 + 0,75 \\ &= 1,095368653 \end{aligned}$$

- Nilai V (Base shear)

$$\begin{aligned} V_x n = V_y = C_s W \\ &= 0,03621875 \times 12197,505 \\ &= 456,2629214 \end{aligned}$$

Table 2. 9 Pembebanan Struktur Kantor Pengelola Arah-X

Lantai	Hx m	Wx.Hxk kNm	Cv	Fx kN	Vx
5	20	63416,43283	0,345014866	157,4179	157,4174907
4	16	50945,48546	0,274000306	125,01618	282,4336709
3	12	24442,66088	0,196952498	89,862122	372,2957932
2	8	11439,56898	0,126800722	57,854468	430,1502609
1	4	213451,8674	0,057231608	26,112661	456,2629214

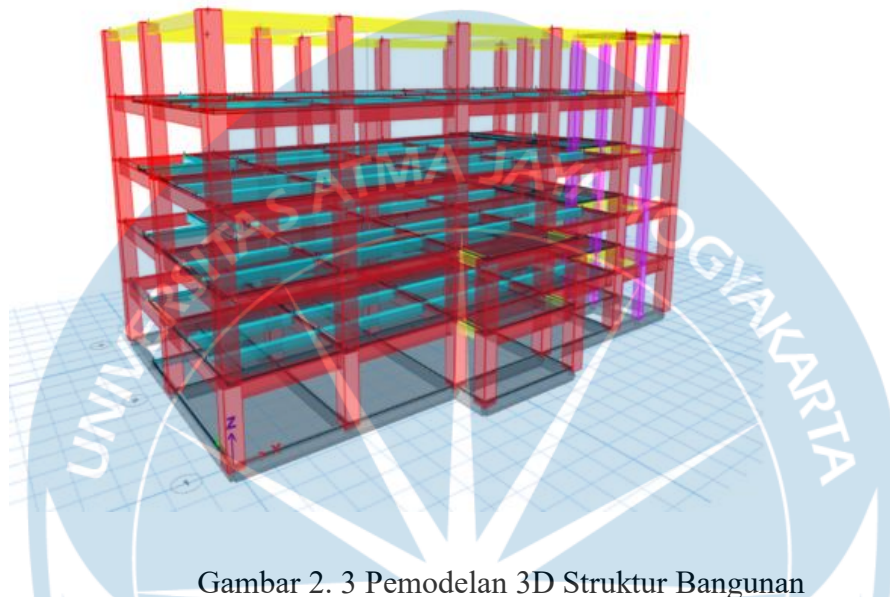
2.6 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan dengan bantuan software ETABS. Pada pemodelan struktur gedung Perpustakaan 5 Lantai Kalimantan Timur, elemen yang digunakan meliputi rangka beton, pelat beton, serta atap baja yang dimodelkan secara terpisah. Bangunan-bangunan tersebut direpresentasikan dan dimodelkan sebagai sistem rangka tiga dimensi dengan elemen pelat dan struktur beton bertulang di setiap lantai, menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Berikut ini adalah data visual hasil pemodelan menggunakan *software*.

Data-data:

1. Mutu beton f'_c = 32 Mpa
2. F_y tulangan = 420 Mpa ; F_u = 560 Mpa
3. F_y Sengkang = 280 Mpa ; F_u = 430 Mpa

Berikut ini adalah gambar 2.3. Pemodelan 3D dalam *software*:

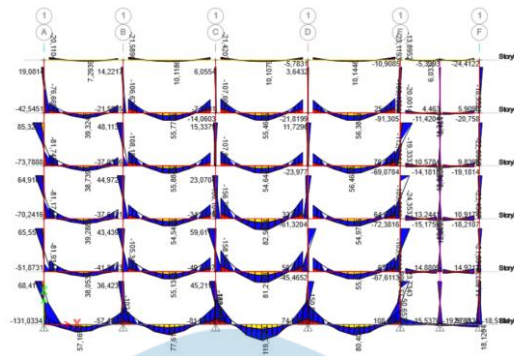


Gambar 2. 3 Pemodelan 3D Struktur Bangunan

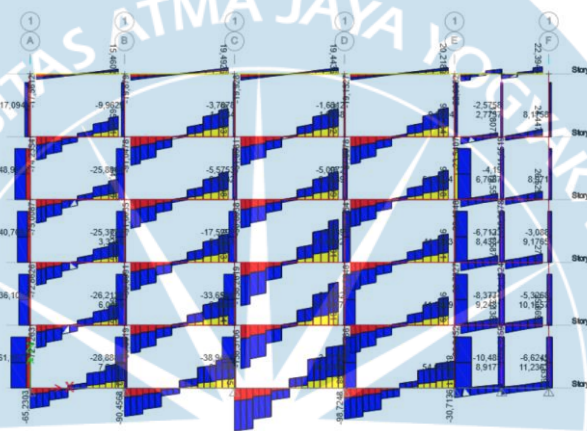
2.7 Interpretasi *Output* Pemodelan

Setelah proses pemodelan struktur selesai dan dinyatakan bahwa perilaku struktur berada dalam kondisi normal, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis terhadap struktur tersebut. Analisis ini mencakup penghitungan gaya-gaya dalam pada elemen seperti balok, kolom, pelat, dan lainnya. Selain itu, analisis ini juga berkaitan dengan reaksi yang ditunjukkan oleh BMD (*Bending Moment Diagram*) dan SFD (*Shear Force Diagram*).

Untuk menentukan gaya yang akan digunakan dalam perancangan, diperlukan pengambilan nilai gaya terbesar dari setiap balok dan kolom. Berikut disajikan Gambar 2.4 dan 2.5 yang menunjukkan diagram BMD (*Bending Moment Diagram*) dan SFD (*Shear Force Diagram*) pada Gedung Perpustakaan.

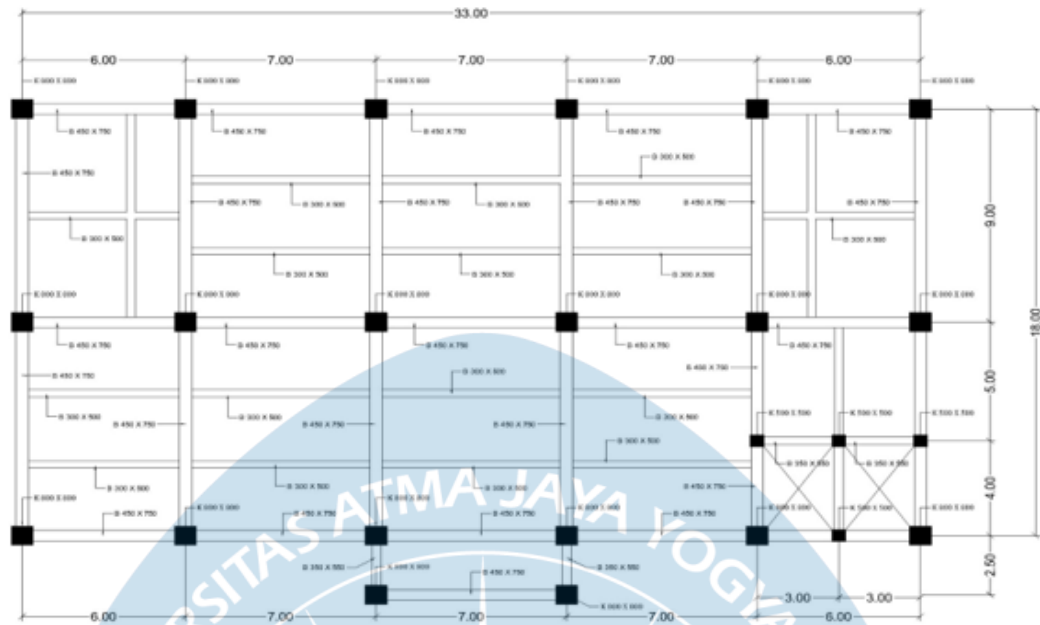


Gambar 2. 4 BMD Gedung Perpustakaan



Gambar 2. 5 SFD Gedung Perpustakaan

Hasil pengambilan gaya-gaya dalam dari analisis menggunakan ETABS menunjukkan gaya-gaya dalam pada balok anak, balok induk, dan kolom di Kantor Pengelola yang akan digunakan dalam proses perancangan. Data tersebut dirangkum dalam tabel 2.10, dan 2.11. Rekapitulasi gaya-gaya dalam untuk balok anak, balok induk, dan kolom pada gedung Perpustakaan 5 Lantai Kalimantan Timur disesuaikan dengan denah struktur yang ditampilkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Denah Struktur Balok & Kolom Gedung Perpustakaan

Table 2. 10 Gaya Dalam Balok

Kondisi	B1 450 x 750	BA1 300 x 500	B3 350 x 550
Vu Tumpuan – (kN)	-494,2821	-30,5435	-38,2227
Vu Lapangan + (kN)	258,5399	109,9283	38,2227
Mu Tumpuan – (kNm)	-256,8786	-109,9283	-10,2255
Mu Lapangan + (kNm)	256,8786	109,9283	10,2255

Table 2. 11 Gaya Dalam Kolom

Loc	K1 800 x 800			K2 500 x 500		
	Pu	M2(Y)	M3 (Y)	Pu	M2(Y)	M3 (Y)
	kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm
P max	4,355	0,018	1,314	4,355	0,018	1,314
P min	-10,062	-2,611	-0,057	-10,062	-2,611	-0,057
M2 Max	0,001	61,140	0,276	0,001	61,140	0,276
M2 Min	-0,003	-48,495	-0,061	-0,003	-48,495	-0,061
M3 Max	0,584	4,927	30,076	0,584	4,927	30,076
M3 Min	-0,787	-33,857	-15,360	-0,787	-33,857	-15,360

2.8 Perancangan Struktur Atap

Tahapan utama dalam perancangan struktur atap mencakup perencanaan gording dan perencanaan kuda-kuda baja. Sebelum merancang gording, terdapat beberapa hal penting yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Untuk atap berbahan genteng atau sirap, jarak horizontal antara gording dapat berkisaran antara 1800 mm hingga maksimal 2500 mm.
2. Untuk atap seng atau asbes, jarak tersebut biasanya berada dalam rentang 1000 mm hingga 1300 mm.
3. Sag rod digunakan untuk menahan beban pada sumbu lemah gording, dengan jumlah yang ditentukan berdasarkan panjang bentang gording (jarak antar kuda-kuda)
4. Jarak maksimal antara sag rod adalah 2000 mm.
5. Panjang bentang gording dipengaruhi oleh jarak antar kuda-kuda. Idealnya, jarak ini sejajar dengan jarak kolom struktur.
6. Apabila tidak memungkinkan, jarak kuda-kuda untuk atap berbahan genteng atau sirap dapat berkisaran antara 2500 mm hingga 4000 mm.
7. Untuk atap seng atau asbes, jarak antar kuda-kuda dapat mencapai hingga 6000 mm.
8. Pada kuda-kuda baja konvensional, disarankan untuk menambahkan batang ikatan angin guna meningkatkan kekakuan struktur di antara kuda-kuda.
9. Sebaiknya digunakan dua batang yang membentang menyilang. Sebelum melakukan perhitungan berdasarkan poin-poin di atas, informasi tambahan seperti yang tercantum dalam tabel 2.37 dapat digunakan untuk menentukan perencanaan gording dan atap.

Tabel Informasi Umum Perencanaan Atap

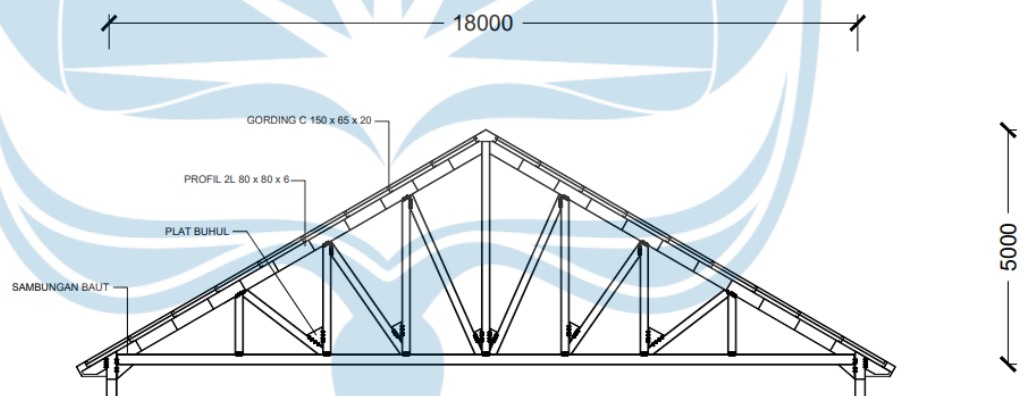
Table 2. 12 Tabel Informasi Umum Perencanaan Atap

Keterangan	Satuan	Gedung Perustakaan
Jarak Gording	m	1,04
Sudut	α	30°
Jarak Antar Kuda-Kuda	m	4,5
Berat Gording	kN/m	5,96
f_y Baja	Mpa	240
Tiupan Angin	kN/m ²	0,25
Tinggi Atap	m	5

2.8.1 Perancangan Atap

▪ Rencana Gording

Perencanaan gording dilakukan sesuai dengan gambar detail rencana gording dan kuda-kuda gedung perpustakaan kalimantan timur yang tertera pada gambar 2.7



Gambar 2. 7 Detail Rencana Gording dan Kuda-kuda

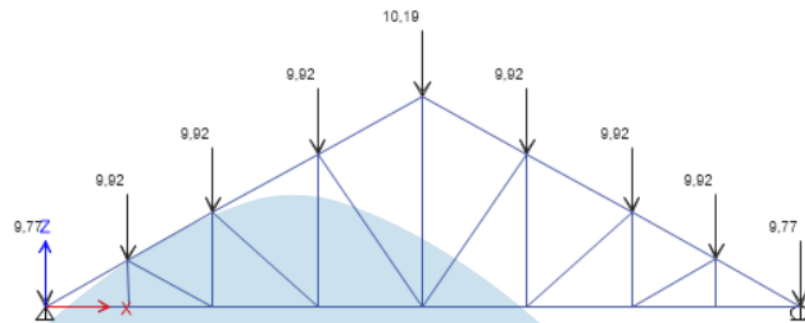
a. Beban Gording

- Berat sendiri = 0,0596 kN/m
- Berat atap = 0,7198614 kN/m
- Berat plafon + Hallow = 0,2078

Dead load (D) rencana gording q : 1,195

Live load (L) diambil sebesar : 1

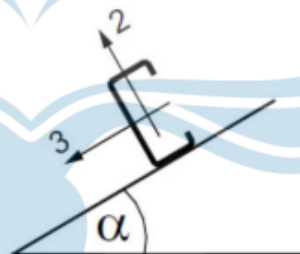
Dari beban yang telah dihitung, akan dimodelkan ke dalam ETABS seperti tertera pada gambar 2.8



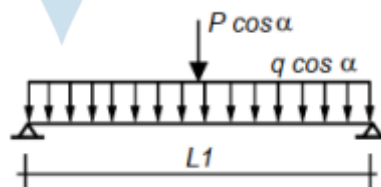
Gambar 2. 8 *Modeling* Input Beban Hidup Gording

b. Rencana Momen Gording

Karena gording dipasang dalam posisi miring, beban yang bekerja pada gording akan terbagi ke dalam sumbu 2 dan sumbu 3, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.9. Beban tersebut kemudian menghasilkan proyeksi momen pada sumbu 2 dan sumbu 3, seperti yang terlihat pada Gambar 2.10 dan Gambar 2.11



Gambar 2. 9 Gambar Proyeksi Sumbu Gording



Gambar 2. 10 Gambar Momen Gording Sumbu 2

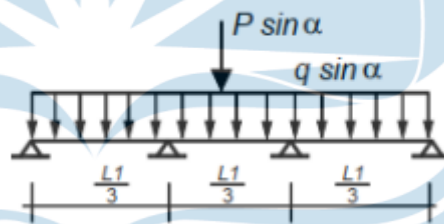
Momen gording sumbu 2

$$\begin{aligned} M_{2,D} &= \frac{1}{8} \times q \times \sin \alpha \times \left(\frac{L}{3}\right)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 1,195 \times \sin 30^\circ \times \left(\frac{4,5}{3}\right)^2 \\ &= 0,168 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2,L} &= \frac{1}{4} \times P \times \sin \alpha \times \frac{L}{3} \\ &= \frac{1}{4} \times 1 \times \sin 30^\circ \times \frac{4,5}{3} \\ &= 0,188 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2,U} &= 1,4 \times M_{2,D} \\ &= 1,4 \times 0,168 \\ &= 0,235 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2,U} &= 1,2 \times M_{2,D} + 1,6 \times M_{2,L} \\ &= 1,2 \times 0,168 + 1,6 \times 0,188 \\ &= 0,502 \end{aligned}$$



Gambar 2. 11 Momen Gording Sumbu 3

Momen gording sumbu 3

$$\begin{aligned} M_{3,D} &= \frac{1}{8} \times q \times \cos \alpha \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 1,195 \times \cos 30^\circ \times 4,5^2 \\ &= 2,620 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3,L} &= \frac{1}{4} \times P \times \cos \alpha \times L \\ &= \frac{1}{4} \times 1 \times \cos 30^\circ \times 4,5 \\ &= 0,974 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3,U} &= 1,4 \times M_{3,D} \\ &= 1,4 \times 2,620 \\ &= 3,668 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{3,U} &= 1,2 \times M_{3,D} + 1,6 \times M_{3,L} \\
 &= 1,2 \times 2,620 + 1,6 \times 0,974 \\
 &= 4,702 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

c. Cek Tegangan Pada Profil C

$$fb = \frac{ma,U}{\phi W_3} + \frac{M_{2U}}{\phi W_2} \leq fy$$

Digunakan profil **C 150 X 65 X 20** dengan tebal 2,5 cm

$$W_3 = Z_x = 35.600 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = Z_y = 10.000 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned}
 fb &= \frac{4,702}{0,9 \times 35.600} + \frac{0,502}{0,9 \times 10.000} \\
 &= 0,000203
 \end{aligned}$$

$$= 202,51 \text{ Mpa} \leq 240 \text{ Mpa}$$

Karena $202,51 \text{ Mpa} < 240 \text{ Mpa}$, maka tegangan profil C aman.

d. Cek Defleksi Gording

$$I_3 = I_x =$$

$$I_2 = I_y =$$

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

$$\delta_2 = \frac{5}{384} + \frac{1,195 \cos 30 \text{ } 4500^4}{200.000 \times 2.670.000} + \frac{1}{48} + \frac{1 \cos 30 \text{ } 4500^3}{200.000 \times 2.670.000}$$

$$\delta_2 = 10,351 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned}
 \delta_3 &= \frac{5}{384} + \frac{1,195 \sin 30}{200.000 \times 440.000} \times \left(\frac{4500}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{1 \sin 30}{200.000 \times 440.000} \times \\
 &\quad \left(\frac{4500}{3}\right)^3
 \end{aligned}$$

$$\delta_3 = 0,448 \text{ mm}$$

$$\delta = \sqrt{\delta_2^2 + \delta_3^2} \leq \frac{1}{24} L$$

$$\delta = \sqrt{0,448^2 + 10,351^2} \leq \frac{1}{240} 4500$$

$$\delta = 10,3607 \leq 18,75$$

karena defleksi gording $10,3607 \text{ mm} < 18,75$, maka defleksi gording aman.

e. Rencanan Sag-rod

Jumlah gording yang digunakan sebanyak

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

$$F_{t,D} = 4\left(\frac{4,5}{3} \times 1,195 \times \sin 30\right) \\ = 3,5852$$

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

f. Kombinasi Beban

$$F_{t,U} = 1,4 \times 3,5852 \\ = 5,0193 \text{ kN}$$

$$F_{t,U} = 1,2 \times 3,5852 + 1,6 \times 1 \\ = 5,9022 \text{ Kn}$$

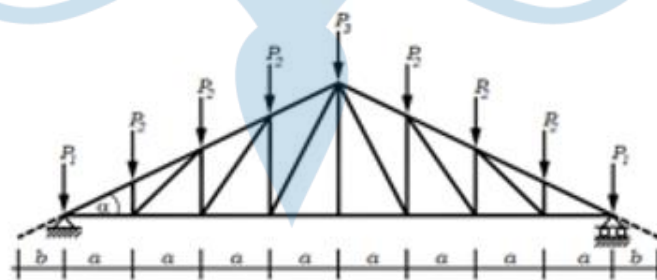
Maka dipilih $F_{t,U}$ adalah 5,9022

g. Luas Batang Sag-rod yang dibutuhkan

$$A_{sr} = \frac{5,9022 \cdot 10^3}{0,9 \times 240} \\ = 27,3251 \text{ kN}$$

▪ **Rencana Beban Kuda-Kuda**

Beban kuda-kuda akan dimasukkan sebagai beban titik berdasarkan posisi gording, dengan mempertimbangkan luas area tributary. Distribusi beban titik pada kuda-kuda atap dapat dilihat pada gambar 2.12



Gambar 2. 12 Plot Beban Titik Kuda-kuda Truss P1,P2, dan P3

1. Beban P1

$$\begin{aligned} \text{➤ Berat Sendiri Kuda-kuda} &= \frac{a}{2} \times \text{berat kuda - kuda} \\ &= \frac{2,00}{2} \times 0,15 \\ &= 0,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

➤ Berat gording = $L \times \text{berat gording per m'}$
 $= 4,5 \times 0,0596$
 $= 0,2682 \text{ kN}$

➤ Berat atap = $\frac{(\frac{a}{2} + b)}{\cos \alpha} \times L \times \text{berat atap}$
 $= \frac{(\frac{2,00}{2} + 1)}{\cos 30^\circ} \times 4,5 \times 0,7198614$
 $= 7,4812 \text{ kN}$

➤ Berat plafon = $(\frac{a}{2} + b) \times L \times \text{berat plafon}$
 $= (\frac{2,00}{2} + 1) \times 4,5 \times 0,2078$
 $= 1,8702 \text{ kN}$

Beban P1 = 9,77 kN

2. Beban P2

➤ Berat Sendiri Kuda-kuda = $a \times \text{berat kuda-kuda}$
 $= 2,00 \times 0,15$
 $= 0,3 \text{ kN}$

➤ Berat gording = $L \times \text{berat gording per m'}$
 $= 4,5 \times 0,0596$
 $= 0,2682 \text{ kN}$

➤ Berat atap = $\frac{a}{\cos \alpha} \times L \times \text{berat atap}$
 $= \frac{2,00}{\cos 30^\circ} \times 4,5 \times 0,7198614$
 $= 7,4812 \text{ kN}$

➤ Berat plafon = $a \times L \times \text{berat plafon}$
 $= 2,00 \times 4,5 \times 0,2078$
 $= 1,8702 \text{ kN}$

Beban P2 = 9,92 kN

3. Beban P3

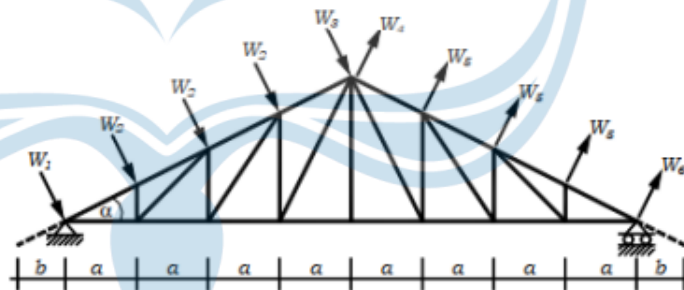
➤ Berat Sendiri Kuda-kuda = $a \times \text{berat kuda-kuda}$
 $= 2,00 \times 0,15$
 $= 0,3 \text{ kN}$

➤ Berat gording = $2 \times L \times \text{berat gording per m'}$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times 4,5 \times 0,0596 \\
 &= 0,5364 \text{ kN} \\
 \text{➤ Berat atap} &= \frac{a}{\cos \alpha} \times L \times \text{berat atap} \\
 &= \frac{2,00}{\cos 30^\circ} \times 4,5 \times 0,7198614 \\
 &= 7,481239 \text{ kN} \\
 \text{➤ Berat plafon} &= a \times L \times \text{berat plafon} \\
 &= 2,00 \times 4,5 \times 0,2078 \\
 &= 1,8702 \text{ kN} \\
 \text{Beban P3} &= 10,19 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Beban Angin

Beban angin yang diterapkan merupakan beban titik berdasarkan posisi gording, dengan nilai yang ditentukan oleh koefisien angin tiup (C_{ti}) dan angin isap (C_{is}) sesuai dengan SNI 1727:2020, gambar 27.3-1. Distribusi beban titik pada kuda-kuda atap dapat dilihat pada gambar 2.13 berikut:



Gambar 2. 13 Plot Beban Angin Kuda-Kuda Monoframe W1 Sampai W6

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Beban W1} &= \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= \frac{(2,00 + 1)}{\cos 30^\circ} \times 0,3 \times 4,5 \times 0,25 \\
 &= 0,779 \text{ kN} \\
 \text{➤ Beban W2} &= \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= \frac{2,00}{\cos 30^\circ} \times 0,3 \times 4,5 \times 0,25 \\
 &= 0,779 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Beban W3} &= \frac{1}{2} \frac{a}{\cos \alpha} \times Cti \times L \times Qw \\
 &= \frac{1}{2} \frac{2,00}{\cos 30^\circ} \times 0,3 \times 4,5 \times 0,25 \\
 &= 0,390
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Beban W4} &= \frac{1}{2} \times \frac{a}{\cos \alpha} \times Cis \times L \times Qw \\
 &= \frac{1}{2} \times \frac{2,00}{\cos 30^\circ} \times (-0,6) \times 4,5 \times 0,25 \\
 &= -0,779 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Beban W5} &= \frac{a}{\cos \alpha} \times Cis \times L \times Qw \\
 &= \frac{2,00}{\cos 30^\circ} \times (-0,6) \times 4,5 \times 0,25 \\
 &= -1,559 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Beban W6} &= \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos \alpha} \times Cis \times L \times Qw \\
 &= \frac{\left(\frac{2,00}{2} + 1\right)}{\cos \alpha} \times (-0,6) \times 4,5 \times 0,25 \\
 &= -1,559 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2.8.2 Perancangan Elemen Kuda-Kuda

Kuda-kuda yang dirancang oleh penulis, memiliki satu jenis mterial baja. Yaitu kuda-kuda baja truss tipe truss double angle. Diketahui data-data gaya dalam seperti yang tertera pada tabel 2.13

Table 2. 13 data gaya dalam kuda-kuda

Story	Brace	Unique Nal	Output Cal	Case Typ	Step Ty	Step Num	Statio	P	V2	V3	T	M2	M3
							m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Story2	D18	62	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,196	-25,56	0	0	0	0	0,2079
Story2	D19	63	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,196	-25,5954	0	0	0	0	0,2079
Story1	D17	61	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,6724	-20,5447	0	0	0	0	0,1583
Story1	D20	64	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,6724	-20,6054	0	0	0	0	0,1583
Story2	D7	59	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,4299	-76,5069	0	0	0	0	0,1354
Story2	D8	40	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,4299	-59,8404	0	0	0	0	0,1354
Story2	D11	43	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,4299	-76,4838	0	0	0	0	0,1354
Story2	D12	44	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,4299	-59,8404	0	0	0	0	0,1354
Story1	D10	42	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,1551	-94,0618	0	0	0	0	0,0883
Story1	D16	60	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,1497	-15,0615	0	0	0	0	0,0879
Story1	D5	57	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,144	-109,548	0	0	0	0	0,0866
Story1	D6	38	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,144	-94,1247	0	0	0	0	0,0866
Story1	D21	65	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,144	-14,9236	0	0	0	0	0,0866
Story1	D9	41	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,1328	-109,158	0	0	0	0	0,085
Story1	D3	12	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0,55	0,3863	0	0	0	0	0,0004
Story2	D7	59	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-76,6121	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D7	59	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,8599	-76,4017	0,1893	0	0	0	0
Story2	D8	40	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-59,9456	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D8	40	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,8599	-59,7352	0,1893	0	0	0	0
Story2	D11	43	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-76,589	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D11	43	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,8599	-76,3787	0,1893	0	0	0	0
Story2	D12	44	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-59,9456	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D12	44	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,8599	-59,7352	0,1893	0	0	0	0
Story2	D18	62	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-25,8335	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D18	62	1,2 DL + 1,6 LL Combination				4,3921	-25,2865	0,1893	0	0	0	0
Story2	D19	63	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-25,8689	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D19	63	1,2 DL + 1,6 LL Combination				4,3921	-25,3219	0,1893	0	0	0	0
Story1	D3	12	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	0,303	-0,0015	0	0	0	0
Story1	D3	12	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,1	0,4696	0,0015	0	0	0	0
Story1	D5	57	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-109,133	-0,1515	0	0	0	0
Story1	D5	57	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,2879	-108,964	0,1515	0	0	0	0
Story1	D6	38	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-94,2088	-0,1515	0	0	0	0
Story1	D6	38	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,2879	-94,0405	0,1515	0	0	0	0
Story1	D9	41	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-109,242	-0,15	0	0	0	0
Story1	D9	41	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,2857	-109,075	0,15	0	0	0	0
Story1	D10	42	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-94,1468	-0,1529	0	0	0	0
Story1	D10	42	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,3102	-93,9768	0,1529	0	0	0	0
Story1	D16	60	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-15,1448	-0,1529	0	0	0	0
Story1	D16	60	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,2993	-14,9782	0,1529	0	0	0	0
Story1	D17	61	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-20,713	-0,1893	0	0	0	0
Story1	D17	61	1,2 DL + 1,6 LL Combination				3,3449	-20,3764	0,1893	0	0	0	0
Story1	D20	64	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-20,7737	-0,1893	0	0	0	0
Story1	D20	64	1,2 DL + 1,6 LL Combination				3,3449	-20,4371	0,1893	0	0	0	0
Story1	D21	65	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-15,0078	-0,1515	0	0	0	0
Story1	D21	65	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,2879	-14,8395	0,1515	0	0	0	0

Story	Brace	Unique Nal	Output Cal	Case Typ	Step Ty	Step Num	Statio	P	V2	V3	T	M2	M3
							m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Story1	D17	61	1,2 DL + 1,6 LL Combination				3,3449	-20,3764	0,1893	0	0	0	0
Story1	D20	64	1,2 DL + 1,6 LL Combination				3,3449	-20,4371	0,1893	0	0	0	0
Story2	D18	62	1,2 DL + 1,6 LL Combination				4,3921	-25,2865	0,1893	0	0	0	0
Story2	D19	63	1,2 DL + 1,6 LL Combination				4,3921	-25,3219	0,1893	0	0	0	0
Story2	D8	40	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,8599	-59,7352	0,1893	0	0	0	0
Story2	D12	44	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,8599	-59,7352	0,1893	0	0	0	0
Story2	D11	43	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,8599	-76,3787	0,1893	0	0	0	0
Story2	D7	59	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,8599	-76,4017	0,1893	0	0	0	0
Story1	D16	60	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,2993	-14,9782	0,1529	0	0	0	0
Story1	D10	42	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,3102	-93,9768	0,1529	0	0	0	0
Story1	D21	65	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,2879	-14,8395	0,1515	0	0	0	0
Story1	D6	38	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,2879	-94,0405	0,1515	0	0	0	0
Story1	D5	57	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,2879	-108,964	0,1515	0	0	0	0
Story1	D9	41	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,2657	-109,075	0,15	0	0	0	0
Story1	D3	12	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,1	0,4696	0,0015	0	0	0	0
Story1	D3	12	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0,55	0,3863	0	0	0	0	0,0004
Story1	D21	65	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,144	-14,9236	0	0	0	0	0,0866
Story1	D16	60	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,1497	-15,0615	0	0	0	0	0,0879
Story1	D17	61	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,6724	-20,5447	0	0	0	0	0,1583
Story1	D20	64	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,6724	-20,6054	0	0	0	0	0,1583
Story2	D18	62	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,196	-25,56	0	0	0	0	0,2079
Story2	D19	63	1,2 DL + 1,6 LL Combination				2,196	-25,5954	0	0	0	0	0,2079
Story2	D8	40	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,4299	-59,8404	0	0	0	0	0,1354
Story2	D12	44	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,4299	-59,8404	0	0	0	0	0,1354
Story2	D11	43	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,4299	-76,4838	0	0	0	0	0,1354
Story2	D7	59	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,4299	-76,5069	0	0	0	0	0,1354
Story1	D10	42	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,1551	-94,0618	0	0	0	0	0,0883
Story1	D6	38	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,144	-94,1247	0	0	0	0	0,0866
Story1	D5	57	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,144	-109,548	0	0	0	0	0,0866
Story1	D9	41	1,2 DL + 1,6 LL Combination				1,1328	-109,158	0	0	0	0	0,085
Story1	D3	12	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	0,303	-0,0015	0	0	0	0
Story1	D9	41	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-109,242	-0,15	0	0	0	0
Story1	D21	65	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-15,0078	-0,1515	0	0	0	0
Story1	D6	38	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-94,2088	-0,1515	0	0	0	0
Story1	D5	57	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-109,133	-0,1515	0	0	0	0
Story1	D16	60	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-15,1448	-0,1529	0	0	0	0
Story1	D10	42	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-94,1468	-0,1529	0	0	0	0
Story1	D17	61	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-20,713	-0,1893	0	0	0	0
Story1	D20	64	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-20,7737	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D18	62	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-25,8335	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D19	63	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-25,8689	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D8	40	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-59,9456	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D12	44	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-59,9456	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D11	43	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-76,589	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D7	59	1,2 DL + 1,6 LL Combination				0	-76,6121	-0,1893	0	0	0	0

Story	Brace	Unique No.	Output Cal.	Case Typ.	Step Ty.	Step Numl	Statio	P	V2	V3	T	M2	M3
							m	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Story1	D3	12	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,1	0,4996	0,0015	0	0	0	0
Story1	D3	12	1,2 DL + 1,6 U Combination				0,55	0,3863	0	0	0	0	0,0064
Story1	D3	12	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	0,303	-0,0015	0	0	0	0
Story1	D21	65	1,2 DL + 1,6 U Combination				2,2879	-14,8395	0,1515	0	0	0	0
Story1	D21	65	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,144	-14,9236	0	0	0	0	0,0866
Story1	D16	60	1,2 DL + 1,6 U Combination				2,2993	-14,9782	0,1529	0	0	0	0
Story1	D21	65	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-15,0078	-0,1515	0	0	0	0
Story1	D16	60	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,1497	-15,0615	0	0	0	0	0,0879
Story1	D16	60	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-15,1448	-0,1529	0	0	0	0
Story1	D17	61	1,2 DL + 1,6 U Combination				3,3449	-20,3764	0,1893	0	0	0	0
Story1	D20	64	1,2 DL + 1,6 U Combination				3,3449	-20,4371	0,1893	0	0	0	0
Story1	D17	61	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,6724	-20,5447	0	0	0	0	0,1583
Story1	D20	64	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,6724	-20,6054	0	0	0	0	0,1583
Story1	D17	61	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-20,713	-0,1893	0	0	0	0
Story1	D20	64	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-20,7737	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D18	62	1,2 DL + 1,6 U Combination				4,3921	-25,2865	0,1893	0	0	0	0
Story2	D19	63	1,2 DL + 1,6 U Combination				4,3921	-25,3219	0,1893	0	0	0	0
Story2	D18	62	1,2 DL + 1,6 U Combination				2,196	-25,56	0	0	0	0	0,2079
Story2	D19	63	1,2 DL + 1,6 U Combination				2,196	-25,5954	0	0	0	0	0,2079
Story2	D18	62	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-25,6335	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D19	63	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-25,6689	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D8	40	1,2 DL + 1,6 U Combination				2,8599	-59,7352	0,1893	0	0	0	0
Story2	D12	44	1,2 DL + 1,6 U Combination				2,8599	-59,7352	0,1893	0	0	0	0
Story2	D8	40	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,4299	-59,8404	0	0	0	0	0,1354
Story2	D12	44	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,4299	-59,8404	0	0	0	0	0,1354
Story2	D8	40	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-59,9456	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D12	44	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-59,9456	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D11	43	1,2 DL + 1,6 U Combination				2,8599	-76,3787	0,1893	0	0	0	0
Story2	D7	39	1,2 DL + 1,6 U Combination				2,8599	-76,4017	0,1893	0	0	0	0
Story2	D11	43	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,4299	-76,4838	0	0	0	0	0,1354
Story2	D7	39	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,4299	-76,5069	0	0	0	0	0,1354
Story2	D11	43	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-76,589	-0,1893	0	0	0	0
Story2	D7	39	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-76,6121	-0,1893	0	0	0	0
Story1	D10	42	1,2 DL + 1,6 U Combination				2,3102	-93,9766	0,1529	0	0	0	0
Story1	D6	38	1,2 DL + 1,6 U Combination				2,2879	-94,0405	0,1515	0	0	0	0
Story1	D10	42	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,1551	-94,0618	0	0	0	0	0,0883
Story1	D6	38	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,144	-94,1247	0	0	0	0	0,0866
Story1	D10	42	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-94,1468	-0,1529	0	0	0	0
Story1	D6	38	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-94,2036	-0,1515	0	0	0	0
Story1	D5	37	1,2 DL + 1,6 U Combination				2,2879	-108,964	0,1515	0	0	0	0
Story1	D5	37	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,144	-109,048	0	0	0	0	0,0866
Story1	D9	41	1,2 DL + 1,6 U Combination				2,2657	-109,075	0,15	0	0	0	0
Story1	D5	37	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-109,133	-0,1515	0	0	0	0
Story1	D9	41	1,2 DL + 1,6 U Combination				1,1328	-109,158	0	0	0	0	0,085
Story1	D9	41	1,2 DL + 1,6 U Combination				0	-109,242	-0,15	0	0	0	0

- Data profil baja yang ditunjukkan sesuai gambar 2.36

$$A = 924 \text{ mm}^2$$

$$I_x = I_y = 564000 \text{ mm}^4$$

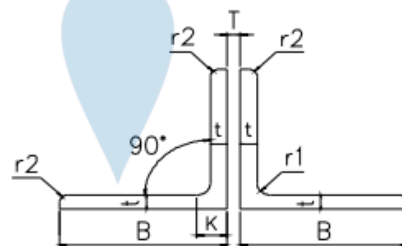
$$I_x = i_y = 24,6 \text{ mm}$$

$$C_x = C_y = 21,8 \text{ mm}$$

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

$$\text{Konstanta torsi (J)} = 5760 \text{ mm}^3$$

$$\text{Modulus geser baja (G)} = 77200 \text{ Mpa}$$



Gambar 2. 14 Gambar *Section properties Double Angle*

- *Section properties* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.37

$$A_g = 2 \times 924$$

$$= 1848 \text{ mm}^2$$

$$I_{xg} = 2 \times 564000$$

$$\begin{aligned}
 &= 1128000 \\
 I_{yg} &= \left(ly + Ag \left(cy + \frac{tp}{2} \right)^2 \right) \\
 &= \left(564000 + 1848 \left(21,8 + \frac{10}{2} \right)^2 \right) \\
 &= 650486,4 \text{ mm}^4 \\
 r_{xg} &= 24,6 \\
 r_{yg} &= \sqrt{\frac{I_{yg}}{A_{profil}}} \\
 &= \sqrt{\frac{650486,4}{1848}} \\
 &= 18,762 \\
 X_0 &= 0 \\
 Y_0 &= Cy - \frac{t}{2} \\
 &= 21,8 - \frac{5}{2} \\
 &= 19,3 \\
 r_o &= \sqrt{\frac{I_x + I_y}{A} + X_0^2 + Y_0^2} \\
 &= \sqrt{\frac{1128000 + 650486,4}{1848} + 0^2 + 19,3^2} \\
 &= 1334,874 \\
 H &= 1 - \frac{X_0^2 + Y_0^2}{r_o^2} \\
 H &= 1 - \frac{0^2 + 19,3^2}{1334,874^2} \\
 &= 0,72
 \end{aligned}$$

a. Batang Tekan:

➤ Panjang Tekuk

Dalam menghitung kelangsingan komponen struktur tekan ($\lambda = L/r$), panjang komponen struktur perlu dikalikan dengan faktor panjang tekuk (K) untuk menentukan panjang efektif kolom tersebut.

➤ Tekuk Lentur

Kekuatan tekan nominal (P_n) suatu komponen struktur tekan akibat tekuk lentur harus dihitung berdasarkan kondisi batas yang ditentukan oleh tekuk lentur.

➤ Tekuk Lentur Torsi

Fcr untuk komponen struktur tekan siku ganda dan profil T

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

Dengan:

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

$$r_0 = \sqrt{\frac{I_x + I_y}{A} + X_o^2 + Y_o^2}$$

$$H = 1 - \frac{X_o^2 + Y_o^2}{r_0^2}$$

x_0, y_0 merupakan koordinat pusat geser terhadap titik berat, $x_0=0$ untuk siku ganda dan profil T

G adalah modulus geser baja, diambil sebesar 77200 Mpa

J adalah konstanta punter, $J = 1/3 \cdot b t^3$

Komponen struktur tekan tersusun yang terdiri dari dua buah profil yang dihubungkan dengan menggunakan alat sambung baut ataupun las, ditentukan seperti ketentuan pada pemeriksaan tekuk lentur dan tekuk lentur torsi, dengan modifikasi pada nilai KL/r sebagai berikut:

- Untuk sambungan yang dibuat kencang penuh

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

- Untuk sambungan yang dilas atau disambung dengan baut pra tarik

- Bila $a/r_t \leq 40$

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

- Bila $a/r_t > 40$

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

Dengan:

$\left(\frac{KL}{r} \right)_m$ = rasio kelangsingan dimodifikasi dari komponen struktur tersusun

$\left(\frac{KL}{r}\right)$ = rasio kelangsingan dari komponen struktur yang bekerja

sebagai satu kesatuan pada aeah tekuk yang diperhitungkan

Ki = 0,5 untuk profil siku yang disusun saling membelakangi

= 0,7 untuk profil kanal yang saling membelakangi

= 0,86 untuk semua kasus lainnya

a = jarak antar penghubung (mm)

ri = radius girasi minimum dari setiap komponen (mm)

- **Pemeriksaan Tekuk Lentur**

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{b}{t} \\ &= \frac{80}{6} \\ &= 13,33 \\ \lambda_r &= 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 0,45 \sqrt{\frac{200000}{240}} \\ &= 12,990 \\ \lambda &= 13,333 > \lambda_r = 12,990\end{aligned}$$

- **Pemeriksaan Tekuk Lentur (terhadap sumbu x-x)**

$$\begin{aligned}\frac{KL}{rx} &= \frac{1 \times 2265,7}{24,6} \\ &= 92,102 \\ F_e &= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\ &= \frac{3,14^2 \cdot 200000}{(92,102)^2} \\ &= 232,463 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

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

$$\frac{KL}{rx} = 92,102 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,97$$

$$\begin{aligned}F_{cr} &= \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y \\ &= \left(0,658^{\frac{240}{232,463}}\right) 240 \\ &= 155,792 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

• **Pemeriksaan Terhadap Tekuk Lentur Torsi**

$$a = 2265,7 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{r} = 92,102 > 40$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{Kia}{ri}\right)^2}$$

$$= 112,801$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)m = 112,801 < 4,71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,95$$

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

$$F_{cry} = 155,792 \text{ Mpa}$$

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

$$= 180,259 \text{ Mpa}$$

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

$$= 109,106 \text{ Mpa}$$

• **Kekuatan Tekan Desain**

$$F_{cr} = 155,792 \text{ Mpa} \quad (\text{Pemeriksaan Tekuk Lentur})$$

$$F_{cr} = 109,106 \text{ Mpa} \quad (\text{Pemeriksaan terhadap Lentur Torsi})$$

Dipilih F_{cr} yang memiliki nilai yang lebih kecil yaitu $F_{cr} = 109,106 \text{ Mpa}$

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

$$= 0,9 \times 109,106 \times 1848$$

$$= 181465,495 \text{ Mpa}$$

$$= 181,465 \text{ kN}$$

$$\phi_c P_n = 181,465 > \text{Gaya tekan maksimum} = 99,6212 \text{ kN (Aman)}$$

b. Batang Tarik:

➤ **Kondisi Leleh Tarik**

Besarnya kekuatan Tarik nominal akibat leleh Tarik didapat melalui persamaan berikut :

$$P_n = F_y \cdot A_g$$

Dengan:

$$A_g = \text{luas gross/bruto dari komponen struktur, mm}^2$$

$$F_y = \text{tegangan leleh minimum yang disyaratkan, Mpa}$$

- **Perhitungan Kelangsingan Batang Tarik**

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{L}{r} \\ &= 89,187 < 300 \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

- **Pemeriksaan Leleh Tarik**

$$\begin{aligned}\phi P_n &= F_y \cdot A_g \\ &= 443520 \\ &= 443,52 \\ \phi P_n &= 443,52 > P_u = 95,4341 \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

2.8.3 Perancangan Sambungan Elemen Kuda-Kuda

Desain sambungan elemen kuda-kuda dalam proyek ini menggunakan sambungan las untuk seluruh struktur bangunan. Perhitungan elemen sambungan kuda-kuda dilakukan sebagai berikut. Perencanaan sambungan elemen kuda-kuda digunakan sambungan las dengan data-data sebagai berikut:

1. Desain Rencana

Profil Baja	= 2L 80 x 80 x 6 - 10
Jenis Baja	= BJ 37
Jenis Baut	= Baut mutu tinggi A325
f_{nv}	= 372 Mpa
Diameter baut (db)	= 16 mm
f_u	= 370 Mpa
f_y	= 240 Mpa
P_u tekan	= 99,621 kN
P_u tarik	= 95,434 Kn

Peraturan SNI 1729 tahun 2020 telah mendapatkan ukuran lubang baut nominal sebagai yang tercantum pada tabel 2.14 berikut.

Table 2. 14 Dimensi Lubang Nominal

Dimensi Lubang Nominal				
Diameter Baut	Standar (diameter)	Ukuran berlebih (diameter)	Standar (diameter)	Slot Panjang (Lebar x Panjang)
M16	18	20	18 x 22	18 x 40
M20	22	24	22 x 26	22 x 50
M22	24	28	24 x 30	24 x 55
M24	27	30	27 x 30	27 x 60
M27	30	35	30 x 37	30 x 67
M30	33	38	33 x 40	33 x 75
≥M36	d + 3	d + 8	(d + 3) x (d + 10)	(d + 3) x 2,5d

Diameter lubang = 18 mm

Mutu pelat = BJ37

Tebal pelat (tp) = 10 mm

Beban rencana (ϕP_n) = 443,52 kN

2. Rencana Kuat Geser Baut

Ketika baut telah mencapai batas ketahanannya dan mengalami putus, diperhitungkan sebagai berikut:

$$R_n = F_n v A_b$$

dimana :

R_n = Kuat geser

$F_n v$ = Kekuatan nominal pengencang

A_b = Luas pengencang

Berdasarkan Load and Resistance Factor Design (LRFD), faktor reduksi yang digunakan sebesar 0,75 maka, desain kuat rencana adalah

$$\phi R_n = \phi F_n v A_b$$

Direncanakan kuat geser baut pada sambungan kuda-kuda adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \\ &= 200,96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$R_n = F_n v A_b$$

$$= \frac{(372 \times 2 \times 200,96)}{1000}$$

$$= 149,514 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = \phi F_n A_b$$

$$= 0,75 \times 149,514$$

$$= 112,136 \text{ kN/baut}$$

Maka kuat geser baut adalah sebesar 112,1926 kN/baut. Setelah kuat geser telah ditentukan, maka dilakukan perhitungan untuk mencari jumlah baut yang cocok untuk beban rencana yang akan ditahan

$$\begin{aligned} \text{Jumlah baut (n)} &= \frac{\phi P_u}{\phi R_n} \\ &= \frac{443,52}{112,136} \\ &= 3,955 \approx 4 \text{ buah baut} \end{aligned}$$

Hitung kuat geser baut untuk seluruh baut

$$\begin{aligned} \phi R_n &= n \times \phi R_n \\ &= 4 \times 112,136 \\ &= 448,543 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka kuat geser baut seluruhnya adalah sebesar 448,543 kN

3. Rencana Kuat Geser *Block Shear*

Kegagalan blok geser dapat terjadi pada pelat buhul. Menurut SNI 1729 tahun 2020, diasumsikan terjadi kegagalan patah pada bagian geser dan bagian tarik, yang keduanya berkontribusi pada kekuatan total dan tahanan terhadap blok geser. Kegagalan geser dianggap sebesar 60% dari kekuatan tarik maksimum, sehingga kekuatan nominal geser dapat dihitung sebagai $0,6F_u A_{nv}$, sementara kekuatan nominal tarik adalah $F_u A_{nt}$, dimana

A_{nv} = luas bersih di bagian yang mengalami geser

A_{nt} = luas bersih di bagian yang mengalami tarik

Maka, kuat nominal adalah:

$$R_n = 0,6F_u A_{nv} + U_b F_u A_{nt}$$

Kuat nominal dibatasi oleh nilai berikut :

$$R_n = 0,6F_y A_{gv} + U_b F_u A_{nt}$$

Dengan:

A_{gv} = luas kotor di bagian yang mengalami geser

Berlaku persamaan berikut :

$$R_n = 0,6F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0,6F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

Dimana $U_{bs} = 1$ apabila tegangan tarik seragam dan $U_{bs} = 0,5$ apabila tegangan tarik tidak seragam. Berdasarkan LRFD digunakan faktor reduksi sebesar 0,75. Direncanakan geser blok pada batang tarik dan pelat buhul adalah sebagai berikut:

a. Mencari Jarak Antar Baut (S)

Menurut SNI 1729 tahun 2020, jarak antara pusat-pusat baut harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak kurang dari $2\frac{2}{3}$ kali diameter nominal baut atau sering kali digunakan tidak kurang dari 3 kali diameter baut ($3d$).

Maka:

$$S \geq \begin{matrix} 3 \times D \text{ baut} \\ 48 \text{ mm} \end{matrix}$$

Diambil jarak antar baut adalah 48 mm

b. Mencari Jarak Tepi Minimum (Le)

Karena diameter baut adalah 16 mm dan memiliki diameter lubang standar maka jarak tepi minimum adalah sebesar 22 mm. Direncanakan jarak tepi sebesar 1,5 kali diameter baut

$$\begin{aligned} Le &= 1,5 \times D_b \\ &= 1,5 \times 16 \\ &= 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, jarak tepi yang direncanakan sebesar 24 mm

c. Mencari Jarak Kotor dan Bersih Bagian Geser

Luas kotor bagian yang mengalami geser ditentukan sebagai berikut

$$\begin{aligned} A_{gv} &= t \times (S + Le) \\ &= 6 \times (48 + 24) \times 2 \\ &= 864 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sedangkan luas bersih yang mengalami geser adalah

$$\begin{aligned} A_{nv} &= [t \times \{(S + Le) - (2,5 \times D \text{ lubang})\}] \times 2 \\ &= [6 \times \{(48 + 24) - (2,5 \times 16)\}] \times 2 \\ &= 384 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, luas kotor bagian geser adalah 864 mm² dan luas bersih bagian geser adalah 384 mm²

d. Mencari Luas Bersih Batang Tarik

Luas bersih bagian yang mengalami retak adalah

$$\begin{aligned} \text{Ant} &= [t \times (L_e - 0,5 \times D \text{ lubang})] \times 2 \\ &= [6 \times (24 - 0,5 \times 16)] \times 2 \\ &= 192 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

e. Kuat Rencana

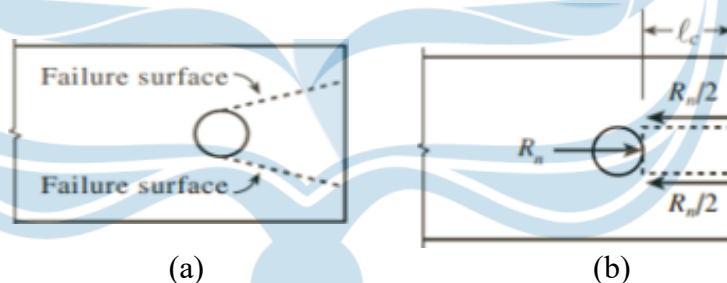
$$\begin{aligned} R_n &= 0,6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \leq 0,6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt} \\ &= 0,6 \times 370 \times 384 + 370 \times 192 \leq 0,6 \times 240 \times 864 + 370 \times 192 \\ &= 156,288 \leq 195,456 \end{aligned}$$

Maka, nilai R_n diambil nilai yang terkecil adalah sebesar 156,288 kN.

Berdasarkan LRFD nilai R_n perlu direduksi

4. Rencana Kuat Tumpu Pelat

Gaya geser dapat menyebabkan pelat mengalami sobekan, yang menunjukkan kuat tumpu pelat. Hal ini dapat diperlihatkan dalam ilustrasi Gambar dibawah



Gambar 2. 15 Kuat Tumpu pelat

Pada Gambar a, terlihat kemungkinan kegagalan yang dapat terjadi adalah sobeknya pelat pada bagian ujung. Jika kita menyederhanakan luasan kegagalan seperti yang ditunjukkan pada Gambar b, kuat tumpu di satu sisi sama dengan kegagalan patah pada area geser atau

$$\frac{R_n}{2} = 0,6 \times F_u \times \ell_c \times t$$

Dimana:

$0,6 F_u$ = tegangan geser pada pelat yang terhubung

ℓ_c = jarak ujung lubang dan tepi pelat yang terhubung

t = tebal pelat

Kekuatan total adalah:

$$\begin{aligned} R_n &= 2 (0,6 F_u l_c t) \\ &= 2 \times 0,6 \times 2 F_u l_c t \\ &= 1,2 F_u l_c t \end{aligned}$$

Namun, kegagalan ini dibatasi agar lubang baut tidak melebar lebih dari $\frac{1}{4}$ inci atau 6,25 mm, yang menghasilkan batas kuat nominal sebesar

$$R_n = 2,4 \times d_b \times t \times F_u$$

Berdasarkan LRFD, faktor reduksi yang diterapkan adalah 0,75. Berikut adalah rencana kekuatan tumpuan pelat:

a) Penentuan Jarak Bersih Antara Tepi Lubang Dengan Tepi Yang Berdekatan (l_c)

- Baut 1

Baut 1 adalah baut yang berada terdekat pada tepi material dimana

$$\begin{aligned} l_c &= S \frac{D_{lubang}}{2} \\ &= \frac{48-18}{2} \\ &= 15 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Baut 2 dan 3

Baut 2 dan 3 adalah baut yang saling berdampingan maka

$$\begin{aligned} l_c &= S - D_{lubang} \\ &= 40 - 18 \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

b) Kuat Tumpu Rencana

Kuat tumpu rencana diperhitungkan berdasarkan posisi baut

- Baut 1

$$\begin{aligned} R_n &= 1,2 F_u l_c t \\ &= 1,2 \times 15 \times 6 \times 370 \\ &= 39,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Baut 2 dan 3

$$\begin{aligned} R_n &= 1,2 F_u l_c t \\ &= 1,2 \times 30 \times 6 \times 370 \end{aligned}$$

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

c) Batasan

Kuat tumpu pada setiap baut dibatasi dan akan diambil nilai terkecil di setiap posisi baut

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 \times d_b \times t \times F_u \\ &= 2,4 \times 16 \times 6 \times 370 \\ &= 85,248 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil di setiap baut maka, baut 1 memiliki kuat tumpu sebesar 39,96 kN, baut 2 dan 3 memiliki kuat tumpu sebesar 79,92 kN

d) Kuat Tumpu Pelat

Kuat tumpu total merupakan penjumlahan kuat tumpu disetiap baut maka

$$\begin{aligned} R_n \text{ total} &= 2 \times (39,96 + (2 \times 79,92)) \\ &= 399,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sesuai LRFD kuat tumpu harus direduksi dengan faktor reduksi sebesar 0,75

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times R_n \\ &= 0,75 \times 399,6 \\ &= 299,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka, kuat tumpu sambungan baut adalah sebesar 299,7 kN

5. Rekapitulasi Sambungan Baut

Rekapitulasi kuat tumpu, kuat geser, dan geser blok adalah sebagai berikut

$$\text{Kuat geser baut} = 448,543 \text{ kN}$$

$$\text{Geser blok} = 117,216 \text{ kN}$$

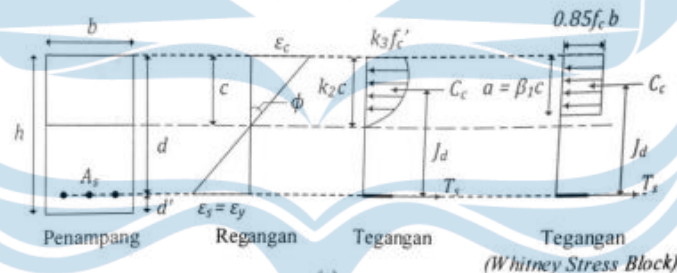
$$\text{Kuat tumpu baut} = 299,7 \text{ kN}$$

Dalam sambungan ini, kekuatan terlemah adalah kemungkinan terjadinya kegagalan. Oleh karena itu, kegagalan yang mungkin terjadi pada desain sambungan baut ini adalah kegagalan akibat geser blok. Untuk memastikan keamanannya terhadap setiap bangunan, dilakukan pemeriksaan agar nilai $P_u \leq$ kuat rencana, seperti dibawah ini

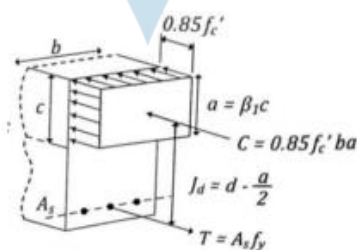
$$\begin{aligned} P_u &\leq \text{kuat rencana} \\ 95,434 &\leq 117,216 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

2.9 Perancangan Balok

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18, bangunan yang masuk dalam Kategori Desain Seismik D diklasifikasikan sebagai bangunan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Bagian bangunan yang harus dipenuhi terkait hal ini tercantum dalam Pasal 18.6 hingga 18.9. Pasal 18.6 membahas mengenai balok untuk sistem rangka pemikul momen khusus, sehingga perancangan balok mengikuti ketentuan Pasal 18.6 dari SNI 2847:2019. Nilai faktor modifikasi (λ) diperoleh dari Tabel 2.5, yang mengacu pada Tabel 19.2.4.2 dalam SNI 2847:2019. Karena Gedung Perpustakaan Kalimantan 2024 menggunakan beton normal, faktor modifikasi yang digunakan adalah 1. Untuk nilai faktor reduksi kekuatan (ϕ), ditentukan melalui Tabel 2.4 yang merujuk pada Tabel 21.2.1 dari SNI 2847:2019. Dalam perancangan balok untuk Gedung Perpustakaan Kalimantan Timur, balok harus mampu menahan gaya geser, sehingga nilai faktor reduksi kekuatan yang digunakan adalah 0,75. Dengan perhitungan memperhatikan diagram regangan dan tegangan seperti tertera pada gambar 2.16 dan 2.17.



Gambar 2. 16 Diagram Regangan & Tegangan Whitney Stress Block



Gambar 2. 17 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 ekuivalen 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 2.15 di bawah ini.

Table 2. 15 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:

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y (d \frac{a}{2})} \quad ; \text{ bila } c < c_{\max}$$

Hitung luas perlu tulangan balok induk yang diperlukan:

$$A_s = \frac{0,85 F' c a b}{f_y}$$

Dengan luas tulangan:

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2$$

Dengan syarat luasan minimum dan maksimum sebagai berikut:

$$A_{\min 1} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} b d \quad (\text{sebagai syarat balok induk SRPMK})$$

$$A_{\min 2} = \frac{1,4}{f_y} b d$$

$$A_{\min 1} = \frac{0,36 \beta_1 f'c b d}{f_y}$$

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}}$$

$A_s \min > A_s \text{ use}$ gunakan $A_s \min$

$A_s \text{ use} > A_s \max$ gunakan $A_s \max$

$A_s \min < A_s \text{ use} < A_s \max$ gunakan $A_s \text{ use}$

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

- Balok Anak 300 x 500

Diketahui data-data sebagai berikut:

Panjang Balok, L = 7000

Lebar Balok, b = 300

Tinggi Balok, h = 500

Panjang Tumpuan = 2 x h

= 1000

Diameter Tulangan Longitudinal, db = 22

Diameter Tulangan Pinggang, dbt = 10

Diameter Tulangan Sengkang, d_s	= 10
Selimut Bersih, c_c	= 40
Tinggi Efektif Balok, d	$= \frac{h - c_c - d_s - d_b}{2}$
	= 439
Kuat Tekan Beton, f_c'	= 32
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y	= 420
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}	= 420
β_1	= 0,8214
Panjang Kolom, c_1	= 800
Lebar Kolom, c_2	= 800
L_n	$= L - C_1$
	= 7000 - 800
Λ	= 6200
Diketahui output dari ETABS sebesar:	
V_u Tumpuan (-)	= 303,3345 kN
V_u Lapangan (+)	= 4,226 kN
M_u Tumpuan (-)	= -30,5435 kNm
M_u Lapangan (+)	= 109,9283 kNm

- **Syarat Gaya dan Geometri**

- Syarat Gaya Aksial = $P_u \leq 0,1 \times A_g \times f'_c$
- Syarat Tinggi Efektif = $L_n \geq 4d$
- Syarat Lebar 1 = $b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm})$
- Syarat Lebar 2 = $b \leq c_2 + 2 \times \min(c_2, 0.75 c_1)$

- **Perencanaan Tulangan Longitudinal Tumpuan**

- Tumpuan Atas

$$\text{Jumlah Tul. atas Tumpuan, } n = 4$$

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

$$\begin{aligned} \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{(b - 2c_c - 2d_s - n \times d_b)}{(n-1)} \\ &= \frac{(300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 22)}{(4-1)} \\ &= 37,333 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek Jarak Bersih : Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (IYA)

$$\text{Jumlah Lapis} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 1520,531 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,1} &= \frac{f'_c{}^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{32^{0,5}}{4 \times 420} \times 300 \times 439 \\ &= 443,457 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 300 \times 439 \\ &= 439,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek As min : As Pasang $\geq$ As min $\rightarrow$ OK

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{1520,531}{300 \times 439} \\ &= 15 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8214 \times \frac{32}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,35 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,2} &= 2,5 \% \\ &= 2,50 \%\end{aligned}$$

Cek As max : $\rho \leq \rho_{\max} \rightarrow \text{OK}$

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f'_c \times b)} \\ &= \frac{1520,531 \times 420}{(0,85 \times 32 \times 300)} \\ &= 78,263 \text{ mm} \\ M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 1520,531 \times 420 \times (439 - \frac{78,263}{2}) \\ &= 255,365 \text{ kN-m} \\ c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{78,263}{0,8214} \\ &= 95,276 \text{ mm} \\ \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{439-95,276}{95,276} \times 0,003 \\ &= 0,011\end{aligned}$$

$$\Phi = 0,900$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \Phi \times M_n \\ &= 0,900 \times 255,365 \\ &= 229,829 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

$$M_{u,\text{tumpuan (-)}} = 30,544 \text{ kN-m}$$

Cek Kapasitas : $\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

$$A_s \text{ Perlu} = 654,550 \text{ mm}^2$$

➤ Tumpuan Bawah

$$\text{Jumlah Tul.atas Tumpuan, } n = 4$$

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

$$\begin{aligned} \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{(b - 2cc - 2ds - n \times db)}{(n-1)} \\ &= \frac{(300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 22)}{(4-1)} \\ &= 37,333 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek Jarak Bersih : Jarak Bersih $\geq$ db dan 25 mm (IYA)

$$\text{Jumlah Lapis} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 1520,531 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,1} &= \frac{f'_c{}^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{32^{0,5}}{4 \times 420} \times 300 \times 439 \\ &= 443,457 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 300 \times 439 \\ &= 439,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,4} &= 0,5 \times \text{As pasang} \\ &= 0,5 \times 1520,531 \\ &= 760,260 \end{aligned}$$

Cek As min : As Pasang $\geq$ As min $\rightarrow$ OK

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{As}{b \times d} \\ &= \frac{1520,531}{300 \times 439} \\ &= 15 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max},1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8214 \times \frac{32}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,35 \% \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max},2} = 2,5 \%$$

$$= 2,50 \%$$

Cek As max : $\rho \leq \rho_{\max} \rightarrow \text{OK}$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f'_c \times b)} \\ &= \frac{1520,531 \times 420}{(0,85 \times 32 \times 300)} \\ &= 78,263 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1520,531 \times 420 \times \left(439 - \frac{78,263}{2}\right) \\ &= 255,365 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{78,263}{0,8214} \\ &= 95,276 \text{ mm} \\ \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{439-95,276}{95,276} \times 0,003 \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,900$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \Phi \times M_n \\ &= 0,900 \times 255,365 \\ &= 229,829 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$M_{u,\text{tumpuan (+)}} = 109,9283 \text{ kN-m}$$

Cek Kapasitas : $\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

$$A_s \text{ Perlu} = 654,550 \text{ mm}^2$$

• Perencanaan Tulangan Longitudinal Lapangan

➤ Tumpuan Atas

$$\text{Jumlah Tul.atas Tumpuan, } n = 4$$

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

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{(b - 2cc - 2ds - n \times db)}{(n-1)}$$

$$= \frac{(300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 22)}{(4-1)}$$

$$= 37,333 \text{ mm}$$

Cek Jarak Bersih : Jarak Bersih $\geq$ db dan 25 mm (IYA)

Jumlah Lapis = 1

As Pasang

$$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

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

$$= 1520,531 \text{ mm}^2$$

As min,1

$$= \frac{f'c^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{32^{0,5}}{4 \times 420} \times 300 \times 439$$

$$= 443,457 \text{ mm}^2$$

As min,2

$$= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{1,4}{420} \times 300 \times 439$$

$$= 439,000 \text{ mm}^2$$

As min,4

$$= 0,5 \times \text{As pasang}$$

$$= 0,5 \times 1520,531$$

$$= 760,260$$

Cek As min : As Pasang $\geq$ As min $\rightarrow$ OK

ρ

$$= \frac{As}{b \times d}$$

$$= \frac{1520,531}{300 \times 439}$$

$$= 15 \%$$

$\rho_{\text{max},1}$

$$= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)}$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times 0,8214 \times \frac{32}{420} \times \frac{600}{(600+420)}$$

$$= 2,35 \%$$

$\rho_{\text{max},2}$

$$= 2,5 \%$$

$$= 2,50 \%$$

Cek As max : $\rho \leq \rho_{\text{max}} \rightarrow$ OK

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \times fy}{(0,85 \times f'c \times b)} \\
 &= \frac{1520,531 \times 420}{(0,85 \times 32 \times 300)} \\
 &= 78,263 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= As \times fy \times (d - \frac{a}{2}) \\
 &= 1520,531 \times 420 \times (439 - \frac{78,263}{2}) \\
 &= 255,365 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{78,263}{0,8214} \\
 &= 95,276 \text{ mm} \\
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{439-95,276}{95,276} \times 0,003 \\
 &= 0,011 \\
 \Phi &= 0,900 \\
 \phi Mn &= \Phi \times Mn \\
 &= 0,900 \times 255,365 \\
 &= 229,829 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$Mu, \text{lapangan (-)} = 109,9283 \text{ kN-m}$$

$$\text{Cek Kapasitas : } \phi Mn > Mu \rightarrow \text{OK}$$

$$As \text{ Perlu} = 654,550 \text{ mm}$$

➤ Tumpuan Bawah

$$\text{Jumlah Tul. atas Tumpuan, } n = 4$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{(b - 2cc - 2ds - n \times db)}{(n-1)} \\
 &= \frac{(300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 22)}{(4-1)} \\
 &= 37,333 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek Jarak Bersih : Jarak Bersih} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm (IYA)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Lapis} &= 1 \\
 \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\
 &= 1520,531 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min,1} &= \frac{f'c^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{32^{0,5}}{4 \times 420} \times 300 \times 439 \\
 &= 443,457 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min,2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{420} \times 300 \times 439 \\
 &= 439,000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min,4} &= 0,5 \times \text{As pasang} \\
 &= 0,5 \times 1520,531 \\
 &= 760,260
 \end{aligned}$$

Cek As min : As Pasang $\geq$ As min $\rightarrow$ OK

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{1520,531}{300 \times 439} \\
 &= 15 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max},1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8214 \times \frac{32}{420} \times \frac{600}{(600 + 420)} \\
 &= 2,35 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max},2} &= 2,5 \% \\
 &= 2,50 \%
 \end{aligned}$$

Cek As max : $\rho \leq \rho_{\text{max}} \rightarrow$ OK

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f'c \times b)} \\
 &= \frac{1520,531 \times 420}{(0,85 \times 32 \times 300)} \\
 &= 78,263 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1520,531 \times 420 \times \left(439 - \frac{78,263}{2}\right) \\
 &= 255,365 \text{ kN-m} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{78,263}{0,8214} \\
 &= 95,276 \text{ mm} \\
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{439-95,276}{95,276} \times 0,003 \\
 &= 0,011 \\
 \Phi &= 0,900 \\
 \phi M_n &= \Phi \times M_n \\
 &= 0,900 \times 255,365 \\
 &= 229,829 \text{ kN-m} \\
 \text{Mu, lapangan (+)} &= 109,9283 \text{ kN-m} \\
 \text{Cek Kapasitas : } \phi M_n &> \text{Mu} \rightarrow \text{OK} \\
 \text{As Perlu} &= 654,550 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- **Perencanaan Tulangan Geser Tumpuan**

Diketahui gaya dalam dan tumpuan dari ETABS sebesar:

$$V_u \text{ Tumpuan (-)} = 303,3345 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ Lapangan (+)} = 4,226 \text{ kN}$$

- **Gaya Desain**

$$V_{g, \text{tumpuan}} = 56,4503 \text{ kN}$$

$$A_{s+} \text{ Tumpuan} = 1520,531 \text{ mm}^2$$

$$A_{s-} \text{ Tumpuan} = 1520,321 \text{ mm}^2$$

$$a_{pr}^+ = 97,828 \text{ mm}$$

$$a_{pr}^- = 97,828 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= A_s^+ \times (1,25 \times f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr}^+}{2} \right) \\ &= 1520,531 \times (1,25 \times 420) \times \left(439 - \frac{97,828}{2} \right) \\ &= 311397234 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= A_s^- \times (1,25 \times f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2} \right) \\ &= 1520,531 \times (1,25 \times 420) \times \left(439 - \frac{97,828}{2} \right) \\ &= 311397234 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{sway atau } V_{pr}} &= \frac{(M_{pr}^+ + M_{pr}^-)}{L_n} \\ &= \frac{(311397234 + 311397234)}{6200} \\ &= 100451 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_e &= V_g + V_{pr} \\ &= 56,4503 \times 1000 + 100451 \\ &= 156901 \text{ N} \end{aligned}$$

■ Tahanan Geser Beton

$$V_{pr} = 100451 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} 1/2 V_e &= \frac{V_e}{2} \\ &= \frac{156901}{2} \\ &= 78451 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = 0 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 A_g f_c' / 20 &= b \times h \times f_c' / 2 \\
 &= 300 \times 500 \times 32 / 2 \\
 &= 240000
 \end{aligned}$$

V_c Diperhitungkan : V_c = 0 jika V_{pr} ≥ 1/2 V_e dan P_u < A_g f_c' / 20 → Tidak

$$V_c = 0 \text{ N}$$

▪ Penulangan Geser

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

$$\begin{aligned}
 A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\
 &= 235,619
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi} = 100$$

$$\text{Spasi Max 1} = d/4$$

$$\begin{aligned}
 &= 439/4 \\
 &= 109,75
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi Max 2} = 6d_b$$

$$\begin{aligned}
 &= 6 \times 22 \\
 &= 150,00
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi Max 3} = 150$$

Cek Spasi : → OK

$$\begin{aligned}
 V_s &= A_v \times f_{yv} \times \frac{d}{s} \\
 &= 235,619 \times 420 \times \frac{439}{100} \\
 &= 434435 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \times f_c'^{0,5} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times 32^{0,5} \times 300 \times 439 \\
 &= 491705 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$V_n = 434435 \text{ N}$$

$$V_u = 156901 \text{ N}$$

$$\phi V_n / V_u = 0,75 \times \frac{434435}{156901}$$

$$= 2,077$$

Cek Kapasitas : $\phi V_n / V_u \geq 1 \rightarrow \text{OK}$

- **Perencanaan Tulangan Geser Lapangan**

- **Penulangan Geser**

Jumlah Kaki = 3

$$A_v = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$$

$$= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2$$

$$= 235,619$$

Spasi = 100

Spasi Max 1 = $d/4$

$$= 439/4$$

$$= 109,75$$

Spasi Max 2 = 6db

$$= 6 \times 22$$

$$= 150,00$$

Spasi Max 3 = 150

Cek Spasi : $\rightarrow \text{OK}$

$$V_s = A_v \times f_{yv} \times \frac{d}{s}$$

$$= 235,619 \times 420 \times \frac{439}{150}$$

$$= 289623 \text{ N}$$

Batas $V_s = 0,66 \times f'c^{0,5} \times b \times d$

$$= 0,66 \times 32^{0,5} \times 300 \times 439$$

$$= 491705 \text{ N}$$

$V_c = 0,17 \times f'c^{0,5} \times b \times d$

$$= 0,17 \times 32^{0,5} \times 300 \times 439$$

$$= 126651 \text{ N}$$

$\Phi = 0,75$

$V_n = 416257 \text{ N}$

$V_u = \frac{V_u \text{ lapangan}}{1000}$

$$= \frac{0,911}{1000}$$

$$= 911 \text{ N}$$

$$\phi V_n / V_u = 0,75 \times \frac{416275}{911}$$

$$= 342,707$$

Cek Kapasitas : $\phi V_n / V_u \geq 1 \rightarrow \text{OK}$

Table 2. 16 Rekap Balok Anak 300 x 500 Gedung

Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Kapasitas Torsi	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	4 D22
Longitudinal Tumpuan Tengah	4 D10
Longitudinal Tumpuan Bawah	4 D22
Longitudinal Lapangan Atas	4 D22
Longitudinal Lapangan Tengah	4 D10
Longitudinal Lapangan Bawah	4 D22
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	3D10-100
Sengkang Lapangan	3D10-150

2.9.2 Perancangan Balok Induk

- Balok Induk 450 x 750

Didapatkan data-data sebagai berikut:

Panjang Balok, L = 9000 mm

Lebar Balok, b = 450 mm

Tinggi Balok, h = 750 mm

Panjang Tumpuan = 1500 mm

Diameter Tulangan Longitudinal, d_b = 22 mm

Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt} = 10 mm

Diameter Tulangan Sengkang, d_s = 10 mm

Selimut Bersih, c_c = 40 mm

Tinggi Efektif Balok, d = $\frac{h - c_c - d_s - d_b}{2}$
 $= \frac{750 - 40 - 10 - 22}{2}$
 $= 689$ mm

Kuat Tekan Beton, f_c' = 32 Mpa

Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y = 420 Mpa

Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv} = 420 Mpa

β_1 = 0,8214

Panjang Kolom, c_1 = 800 mm

Lebar Kolom, c_2 = 800 mm

L_n = $L - c_1$
 $= 9000 - 800$
 $= 8200$ mm

Λ = 1

Diketahui output dari ETABS sebesar:

$$\begin{aligned} V_u \text{ Tumpuan (-)} &= -494,282 \text{ kN} \\ V_u \text{ Lapangan (+)} &= 258,5399 \text{ kN} \\ M_u \text{ Tumpuan (-)} &= -256,879 \text{ kNm} \\ M_u \text{ Lapangan (+)} &= 256,8786 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- **Syarat Gaya dan Geometri**

- Syarat Gaya Aksial = $P_u \leq 0,1 \times A_g \times f'_c$
- Syarat Tinggi Efektif = $L_n \geq 4d$
- Syarat Lebar 1 = $b \geq \min(0,3h, 250 \text{ mm})$
- Syarat Lebar 2 $b \leq c_2 + 2 \times \min(c_2, 0,75 c_1)$

- **Perencanaan Tulangan Longitudinal Tumpuan**

- Tumpuan Atas

$$\text{Jumlah Tul. atas Tumpuan, } n = 6$$

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

$$\begin{aligned} \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{(b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b)}{(n-1)} \\ &= \frac{(450 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 6 \times 22)}{(6-1)} \\ &= 43,600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek Jarak Bersih : Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (IYA)

$$\text{Jumlah Lapis} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 6 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 2280,796 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,1} &= \frac{f'_c{}^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{32^{0,5}}{4 \times 420} \times 450 \times 689 \\ &= 1043,993 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 450 \times 689 \end{aligned}$$

$$= 1033,500 \text{ mm}^2$$

Cek As min : As Pasang $\geq$ As min $\rightarrow$ OK

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{2280,796}{450 \times 689} \\ &= 0,74 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8214 \times \frac{32}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,35 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,2} &= 2,5 \%\end{aligned}$$

Cek As max : $\rho \leq \rho_{\max} \rightarrow$ OK

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f'_c \times b)} \\ &= \frac{2280,796 \times 420}{(0,85 \times 32 \times 450)} \\ &= 78,263 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 2280,796 \times 420 \times \left(689 - \frac{78,263}{2}\right) \\ &= 622,532 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{78,263}{0,8214} \\ &= 95,276 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{439-95,276}{95,276} \times 0,003 \\ &= 0,011\end{aligned}$$

$$\Phi = 0,900$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \Phi \times M_n \\ &= 0,900 \times 622,532\end{aligned}$$

$$= 560,278 \text{ kN-m}$$

$$\text{Mu, tumpuan (-)} = 494,282 \text{ kN-m}$$

$$\text{Cek Kapasitas : } \phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$$

$$\text{As Perlu} = 1810,923 \text{ mm}^2$$

➤ Tumpuan Bawah

$$\text{Jumlah Tul. atas Tumpuan, } n = 6$$

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

$$\begin{aligned} \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{(b - 2c - 2d_s - n \times d_b)}{(n-1)} \\ &= \frac{(450 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 6 \times 22)}{(6-1)} \\ &= 43,600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek Jarak Bersih : Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (IYA)}$$

$$\text{Jumlah Lapis} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 1 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 2280,796 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,1} &= \frac{f'_c{}^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{32^{0,5}}{4 \times 420} \times 450 \times 689 \\ &= 1043,993 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 450 \times 689 \\ &= 1033,500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,4} &= 0,5 \times \text{As pasang} \\ &= 0,5 \times 2280,796 \\ &= 1140,398 \end{aligned}$$

$$\text{Cek As min : As Pasang} \geq \text{As min} \rightarrow \text{OK}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

$$= \frac{2280,7996}{450 \times 689}$$

$$= 0,74 \%$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max,1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8214 \times \frac{32}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,35 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max,2} &= 2,5 \% \\ &= 2,50 \% \end{aligned}$$

Cek As max : $\rho \leq \rho_{\max} \rightarrow \text{OK}$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f'_c \times b)} \\ &= \frac{2280,7996 \times 420}{(0,85 \times 32 \times 450)} \\ &= 78,263 \text{ mm} \\ M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 2280,7996 \times 420 \times (689 - \frac{78,263}{2}) \\ &= 622,532 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{78,263}{0,8214} \\ &= 95,276 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{689-95,276}{95,276} \times 0,003 \\ &= 0,019 \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,900$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \Phi \times M_n \\ &= 0,900 \times 622,532 \\ &= 560,278 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$M_{u,\text{tumpuan (+)}} = 258,540 \text{ kN-m}$$

Cek Kapasitas : $\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

$$\text{As Perlu} = 947,224 \text{ mm}$$

• **Perencanaan Tulangan Longitudinal Lapangan**

➤ Tumpuan Atas

$$\text{Jumlah Tul.atas Tumpuan, } n = 5$$

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

$$\begin{aligned} \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{(b - 2 cc - 2 ds - n \times db)}{(n-1)} \\ &= \frac{(450 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 22)}{(5-1)} \\ &= 60,000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek Jarak Bersih : Jarak Bersih $\geq db$ dan 25 mm (IYA)

$$\text{Jumlah Lapis} = 1$$

$$\text{As Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2$$

$$= 1900,664 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{As min,1} &= \frac{f'c^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{32^{0,5}}{4 \times 420} \times 450 \times 689 \\ &= 1043,993 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 450 \times 689 \\ &= 1033,500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,4} &= 0,5 \times \text{As pasang} \\ &= 0,5 \times 1900,664 \\ &= 570,199 \end{aligned}$$

Cek As min : As Pasang $\geq$ As min $\rightarrow$ OK

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{As}{b \times d} \\ &= \frac{1900,664}{450 \times 689} \\ &= 0,61 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8214 \times \frac{32}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,35 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,2} &= 2,5 \%\end{aligned}$$

Cek As max : $\rho \leq \rho_{\max} \rightarrow \text{OK}$

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f'_c \times b)} \\ &= \frac{1900,664 \times 420}{(0,85 \times 32 \times 450)} \\ &= 65,219 \text{ mm} \\ M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 1900,664 \times 420 \times (689 - \frac{78,263}{2}) \\ &= 523,983 \text{ kN-m} \\ c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{65,219}{0,8214} \\ &= 79,397 \text{ mm} \\ \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{689-79,397}{79,397} \times 0,003 \\ &= 0,023\end{aligned}$$

$$\Phi = 0,900$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \Phi \times M_n \\ &= 0,900 \times 523,983 \\ &= 471,584 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

$$M_u, \text{lapangan (-)} = 256,879 \text{ kN-m}$$

Cek Kapasitas : $\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

$$A_s \text{ Perlu} = 931,786 \text{ mm}^2$$

➤ Tumpuan Bawah

$$\text{Jumlah Tul. atas Tumpuan, } n = 5$$

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

$$\begin{aligned} \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{(b - 2 cc - 2 ds - n \times db)}{(n-1)} \\ &= \frac{(450 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 22)}{(5-1)} \\ &= 60,000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek Jarak Bersih : Jarak Bersih $\geq$ db dan 25 mm (IYA)

$$\text{Jumlah Lapis} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2 \\ &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 1900,664 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,1} &= \frac{f'_c{}^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{32^{0,5}}{4 \times 420} \times 450 \times 689 \\ &= 1043,993 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 450 \times 689 \\ &= 1033,500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,4} &= 0,5 \times \text{As pasang} \\ &= 0,5 \times 1900,664 \\ &= 570,199 \end{aligned}$$

Cek As min : As Pasang $\geq$ As min $\rightarrow$ OK

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{As}{b \times d} \\ &= \frac{1900,664}{450 \times 689} \\ &= 0,61 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max},1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8214 \times \frac{32}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,35 \% \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max},2} = 2,5 \%$$

$$= 2,50 \%$$

Cek As max : $\rho \leq \rho_{\max} \rightarrow \text{OK}$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f'_c \times b)} \\ &= \frac{1900,664 \times 420}{(0,85 \times 32 \times 450)} \\ &= 65,219 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 1900,664 \times 420 \times (689 - \frac{78,263}{2}) \\ &= 523,983 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{65,219}{0,8214} \\ &= 79,397 \text{ mm} \\ \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{689-79,397}{79,397} \times 0,003 \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,900$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \Phi \times M_n \\ &= 0,900 \times 523,983 \\ &= 471,584 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$M_{u, \text{lapangan}} (-) = 256,879 \text{ kN-m}$$

Cek Kapasitas : $\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

$$A_s \text{ Perlu} = 931,786 \text{ mm}^2$$

• Perencanaan Tulangan Geser Tumpuan

Diketahui gaya dalam dan tumpuan dari ETABS sebesar:

$$V_u \text{ Tumpuan } (-) = 303,3345 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ Lapangan (+)} = 4,226 \text{ kN}$$

▪ Gaya Desain

$$V_{g, \text{tumpuan}} = 1,9314 \text{ kN}$$

$$A_{s+} \text{ Tumpuan} = 2280,796 \text{ mm}^2$$

$$A_{s-} \text{ Tumpuan} = 2280,796 \text{ mm}^2$$

$$a_{pr+} = 97,828 \text{ mm}$$

$$a_{pr-} = 97,828 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr+} &= A_{s+} \times (1,25 \times f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr+}}{2} \right) \\ &= 2280,796 \times (1,25 \times 420) \times \left(689 - \frac{97,828}{2} \right) \\ &= 766450361 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr-} &= A_{s-} \times (1,25 \times f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr-}}{2} \right) \\ &= 2280,796 \times (1,25 \times 420) \times \left(689 - \frac{97,828}{2} \right) \\ &= 766450361 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{sway atau } V_{pr}} &= \frac{(M_{pr+} + M_{pr-})}{L_n} \\ &= \frac{(766450361 + 766450361)}{8200} \end{aligned}$$

$$= 186939 \text{ N}$$

$$V_e = V_g + V_{pr}$$

$$= 1,9314 \times 1000 + 186939$$

$$= 188871 \text{ N}$$

▪ Tahanan Geser Beton

$$V_{pr} = 186939 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} 1/2 V_e &= \frac{V_e}{2} \\ &= \frac{188871}{2} \end{aligned}$$

$$= 94435.5 \text{ N}$$

$$P_u = 0 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} A_g f_c' / 20 &= b \times h \times f_c' / 20 \\ &= 450 \times 750 \times 32 / 20 \\ &= 540000 \end{aligned}$$

V_c Diperhitungkan : $V_c = 0$ jika $V_{pr} \geq 1/2 V_e$ dan $P_u < A_g f_c' / 20 \rightarrow$ Tidak

$$V_c = 0 \text{ N}$$

▪ Penulangan Geser

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

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\ &= 235,619 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi} = 100$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Max 1} &= d/4 \\ &= 689/4 \\ &= 172,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Max 2} &= 6d_b \\ &= 6 \times 22 \\ &= 132 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi Max 3} = 150$$

Cek Spasi : $\rightarrow$ OK

$$\begin{aligned} V_s &= A_v \times f_{yv} \times \frac{d}{s} \\ &= 235,619 \times 420 \times \frac{689}{100} \end{aligned}$$

$$= 4545579 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times f'c^{0,5} \times b \times d \\ &= 0,66 \times 32^{0,5} \times 450 \times 689 \\ &= 1157579 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$V_n = 752721 \text{ N}$$

$$V_u = 4226 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n / V_u &= 0,75 \times \frac{752721}{4226} \\ &= 133,588 \end{aligned}$$

$$\text{Cek Kapasitas : } \phi V_n / V_u \geq 1 \rightarrow \text{OK}$$

- **Perencanaan Tulangan Geser Lapangan**

- **Penulangan Geser**

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

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\ &= 235,619 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Spasi Max} &= d/4 \\ &= 689/4 \\ &= 344,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek Spasi : } \rightarrow \text{OK}$$

$$\begin{aligned} V_s &= A_v \times f_{yv} \times \frac{d}{s} \\ &= 235,619 \times 420 \times \frac{689}{150} \\ &= 454557 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times f'c^{0,5} \times b \times d \\ &= 0,66 \times 32^{0,5} \times 450 \times 689 \\ &= 1157579 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times f'c^{0,5} \times b \times d \\ &= 0,17 \times 32^{0,5} \times 450 \times 689 \\ &= 298164 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi &= 0,75 \\
 V_n &= 752721 \text{ N} \\
 V_u &= \frac{Vu \text{ lapangan}}{1000} \\
 &= \frac{4,226}{1000} \\
 &= 4226 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u &= 0,75 \times \frac{4752721}{4226} \\
 &= 133,588
 \end{aligned}$$

Cek Kapasitas : $\phi V_n / V_u \geq 1 \rightarrow \text{OK}$

Table 2. 17 Rekap Balok Induk 450 x 750

Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Kapasitas Torsi	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	6 D22
Longitudinal Tumpuan Tengah	4 D10
Longitudinal Tumpuan Bawah	6 D22
Longitudinal Lapangan Atas	5 D22
Longitudinal Lapangan Tengah	4 D10
Longitudinal Lapangan Bawah	5 D22
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	3D10-100
Sengkang Lapangan	3D10-150

- Balok Induk 350 x 550

Didapatkan data-data sebagai berikut:

Panjang Balok, L = 6000 mm

Lebar Balok, b = 350 mm

Tinggi Balok, h = 550 mm

Panjang Tumpuan = 1100 mm

Diameter Tulangan Longitudinal, d_b = 22 mm

Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt} = 10 mm

Diameter Tulangan Sengkang, d_s = 10 mm

Selimut Bersih, c_c = 40 mm

Tinggi Efektif Balok, d

$$= \frac{h - c_c - d_s - d_b}{2}$$

$$= \frac{550 - 40 - 10 - 22}{2}$$

= 489 mm

Kuat Tekan Beton, f_c' = 32 Mpa

Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y = 420 Mpa

Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv} = 420 Mpa

β_1 = 0,8214

Panjang Kolom, c_1 = 800 mm

Lebar Kolom, c_2 = 800 mm

$$\begin{aligned}
 L_n &= L - c1 \\
 &= 6000 - 800 \\
 &= 5200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\Lambda = 1$$

Diketahui output dari ETABS sebesar:

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ Tumpuan (-)} &= -38,2227 \text{ kN} \\
 V_u \text{ Lapangan (+)} &= 38,2227 \text{ kN} \\
 M_u \text{ Tumpuan (-)} &= -10,2255 \text{ kNm} \\
 M_u \text{ Lapangan (+)} &= 10,2255 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- **Syarat Gaya dan Geometri**

- Syarat Gaya Aksial = $P_u \leq 0,1 \times A_g \times f'_c$
- Syarat Tinggi Efektif = $L_n \geq 4d$
- Syarat Lebar 1 = $b \geq \min(0,3h, 250 \text{ mm})$
- Syarat Lebar 2 = $b \leq c2 + 2 \times \min(c2, 0,75 c1)$

- **Perencanaan Tulangan Longitudinal Tumpuan**

- Tumpuan Atas

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Tul.atas Tumpuan, } n &= 5 \\
 d_b &= 22 \text{ mm} \\
 \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{(b - 2cc - 2ds - n \times db)}{(n-1)} \\
 &= \frac{(350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 22)}{(5-1)} \\
 &= 35,000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek Jarak Bersih : Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (IYA)

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Lapis} &= 1 \\
 \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\
 &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1900,664 \text{ mm}^2 \\
 \text{As min,1} &= \frac{f'_c{}^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{32^{0,5}}{4 \times 420} \times 350 \times 489 \\
 &= 576,292 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min,2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{420} \times 350 \times 489 \\
 &= 570,500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek As min : As Pasang $\geq$ As min $\rightarrow$ OK

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{As}{b \times d} \\
 &= \frac{1900,664}{350 \times 489} \\
 &= 1,11 \% \\
 \rho \text{ max,1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8214 \times \frac{32}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\
 &= 2,35 \% \\
 \rho \text{ max,2} &= 2,5 \% \\
 &= 2,50 \%
 \end{aligned}$$

Cek As max : $\rho \leq \rho \text{ max} \rightarrow$ OK

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \times f_y}{(0,85 \times f'_c \times b)} \\
 &= \frac{1900,664 \times 420}{(0,85 \times 32 \times 350)} \\
 &= 83,853 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= As \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\
 &= 1900,664 \times 420 \times (489 - \frac{83,853}{2}) \\
 &= 356,889 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{83,853}{0,8214}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 102,082 \text{ mm} \\
 \varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{489-102,082}{102,082} \times 0,003 \\
 &= 0,011
 \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,900$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \Phi \times M_n \\
 &= 0,900 \times 356,889 \\
 &= 321,200 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$M_u, \text{tumpuan (-)} = 38,223 \text{ kN-m}$$

Cek Kapasitas : $\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

$$\text{As Perlu} = 203,560 \text{ mm}^2$$

➤ Tumpuan Bawah

$$\text{Jumlah Tul. atas Tumpuan, } n = 5$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{(b - 2c - 2ds - n \times db)}{(n-1)} \\
 &= \frac{(350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 22)}{(5-1)} \\
 &= 35,000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek Jarak Bersih : Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (IYA)

$$\text{Jumlah Lapis} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\
 &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\
 &= 1900,664 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min,1} &= \frac{f'_c{}^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{32^{0,5}}{4 \times 420} \times 350 \times 489 \\
 &= 576,292 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min,2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{420} \times 350 \times 489
 \end{aligned}$$

$$= 570,500 \text{ mm}^2$$

Cek As min : As Pasang $\geq$ As min $\rightarrow$ OK

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{1900,664}{350 \times 489} \\ &= 1,11 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8214 \times \frac{32}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,35 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,2} &= 2,5 \%\end{aligned}$$

Cek As max : $\rho \leq \rho_{\max} \rightarrow$ OK

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f'_c \times b)} \\ &= \frac{1900,664 \times 420}{(0,85 \times 32 \times 350)} \\ &= 83,853 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 1900,664 \times 420 \times (489 - \frac{83,853}{2}) \\ &= 356,889 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{83,853}{0,8214} \\ &= 102,082 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{489-102,082}{102,082} \times 0,003 \\ &= 0,011\end{aligned}$$

$$\Phi = 0,900$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \Phi \times M_n \\ &= 0,900 \times 356,889\end{aligned}$$

$$= 321,200 \text{ kN-m}$$

$$Mu, \text{tumpuan (+)} = 38,223 \text{ kN-m}$$

$$\text{Cek Kapasitas : } \phi M_n > Mu \rightarrow \text{OK}$$

$$As \text{ Perlu} = 203,560 \text{ mm}$$

• Perencanaan Tulangan Longitudinal Lapangan

➤ Tumpuan Atas

$$\text{Jumlah Tul.atas Tumpuan, } n = 3$$

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

$$\begin{aligned} \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{(b - 2cc - 2ds - n \times db)}{(n-1)} \\ &= \frac{(350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 22)}{(3-1)} \\ &= 92,000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek Jarak Bersih : Jarak Bersih} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm (IYA)}$$

$$\text{Jumlah Lapis} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2 \\ &= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 1140,398 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,1} &= \frac{f'c^{0,5}}{4 \times fy} \times b \times d \\ &= \frac{32^{0,5}}{4 \times 420} \times 350 \times 489 \\ &= 576,292 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,2} &= \frac{1,4}{fy} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 350 \times 489 \\ &= 570,500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min,4} &= 0,5 \times As \text{ pasang} \\ &= 0,5 \times 1900,664 \\ &= 475,166 \end{aligned}$$

$$\text{Cek As min : } As \text{ Pasang} \geq As \text{ min} \rightarrow \text{OK}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{1140,398}{350 \times 489} \\ &= 0,67 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8214 \times \frac{32}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,35 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,2} &= 2,5 \%\end{aligned}$$

Cek A_s max : $\rho \leq \rho_{\max} \rightarrow \text{OK}$

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f'_c \times b)} \\ &= \frac{1140,398 \times 420}{(0,85 \times 32 \times 350)} \\ &= 50,312 \text{ mm} \\ M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 1140,398 \times 420 \times (489 - \frac{50,312}{2}) \\ &= 222,166 \text{ kN-m} \\ c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{50,312}{0,8214} \\ &= 61,249 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{489-61,249}{61,249} \times 0,003 \\ &= 0,021\end{aligned}$$

$$\Phi = 0,900$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \Phi \times M_n \\ &= 0,900 \times 222,166 \\ &= 199,950 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

$$M_u, \text{lapangan (-)} = 10,226 \text{ kN-m}$$

Cek Kapasitas : $\phi M_n \geq M_u \rightarrow \text{OK}$

$$\text{As Perlu} = 52,488 \text{ mm}$$

➤ Tumpuan Bawah

$$\text{Jumlah Tul.atas Tumpuan, } n = 4$$

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

$$\begin{aligned} \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{(b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b)}{(n-1)} \\ &= \frac{(350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 22)}{(4-1)} \\ &= 54,000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek Jarak Bersih : Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (IYA)

$$\text{Jumlah Lapis} = 1$$

$$\text{As Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

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

$$= 1520,531 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min,1} = \frac{f'_c{}^{0,5}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{32^{0,5}}{4 \times 420} \times 350 \times 489$$

$$= 576,292 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min,2} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{1,4}{420} \times 350 \times 489$$

$$= 570,500 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min,4} = 0,5 \times \text{As pasang}$$

$$= 0,5 \times 1900,664$$

$$= 475,166 \text{ mm}^2$$

Cek As min : As Pasang $\geq$ As min $\rightarrow \text{OK}$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

$$= \frac{1520,531}{350 \times 489}$$

$$= 0,89 \%$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,1} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8214 \times \frac{32}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,35 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,2} &= 2,5 \%\end{aligned}$$

Cek As max : $\rho \leq \rho_{\max} \rightarrow \text{OK}$

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times f_y}{(0,85 \times f'_c \times b)} \\ &= \frac{1520,531 \times 420}{(0,85 \times 32 \times 350)} \\ &= 67,082 \text{ mm} \\ M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 1520,531 \times 420 \times (489 - \frac{67,082}{2}) \\ &= 290,866 \text{ kN-m} \\ c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{67,082}{0,8214} \\ &= 81,665 \text{ mm} \\ \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{489-81,665}{81,665} \times 0,003 \\ &= 0,015\end{aligned}$$

$$\Phi = 0,900$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \Phi \times M_n \\ &= 0,900 \times 290,866 \\ &= 261,780 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

$$M_u, \text{lapangan (+)} = 10,226 \text{ kN-m}$$

Cek Kapasitas : $\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

$$A_s \text{ Perlu} = 53,455 \text{ mm}$$

- **Perencanaan Tulangan Geser Tumpuan**

Diketahui gaya dalam dan tumpuan dari ETABS sebesar:

$$V_u \text{ Tumpuan (-)} = 50,604 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ Lapangan (+)} = 18,2584 \text{ kN}$$

- **Gaya Desain**

$$V_{g, \text{tumpuan}} = 18,2584 \text{ kN}$$

$$A_{s^+} \text{ Tumpuan} = 1900,664 \text{ mm}^2$$

$$A_{s^-} \text{ Tumpuan} = 1900,664 \text{ mm}^2$$

$$a_{pr^+} = 104,816 \text{ mm}$$

$$a_{pr^-} = 104,816 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr^+} &= A_{s^+} \times (1,25 \times f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr^+}}{2} \right) \\ &= 1900,664 \times (1,25 \times 420) \times \left(489 - \frac{104,816}{2} \right) \\ &= 435652612 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr^-} &= A_{s^-} \times (1,25 \times f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr^-}}{2} \right) \\ &= 1900,664 \times (1,25 \times 420) \times \left(489 - \frac{104,816}{2} \right) \\ &= 435652612 \text{ N mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{sway atau } V_{pr}} &= \frac{(M_{pr^+} + M_{pr^-})}{L_n} \\ &= \frac{(435652612 + 435652612)}{5200} \end{aligned}$$

$$= 167559 \text{ N}$$

$$V_e = V_g + V_{pr}$$

$$= 18,2584 \times 1000 + 167559$$

$$= 185817 \text{ N}$$

▪ Tahanan Geser Beton

$$V_{pr} = 167559 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} V_e &= \frac{V_e}{2} \\ &= \frac{185817}{2} \end{aligned}$$

$$= 92909 \text{ N}$$

$$P_u = 0 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} A_g f_c' / 20 &= b \times h \times f_c' / 20 \\ &= 350 \times 550 \times 32 / 20 \\ &= 308000 \end{aligned}$$

V_c Diperhitungkan : $V_c = 0$ jika $V_{pr} \geq \frac{1}{2} V_e$ dan $P_u < A_g f_c' / 20 \rightarrow$ Tidak

$$V_c = 0 \text{ N}$$

▪ Penulangan Geser

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

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\ &= 235,619 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi} = 100$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Max 1} &= d/4 \\ &= 489/4 \\ &= 122,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Max 2} &= 6d_b \\ &= 6 \times 22 \\ &= 132,00 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi Max 3} = 150$$

Cek Spasi : → OK

$$\begin{aligned} V_s &= A_v \times f_{yv} \times \frac{d}{s} \\ &= 235,619 \times 420 \times \frac{489}{100} \\ &= 483915 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times f'c^{0,5} \times b \times d \\ &= 0,66 \times 32^{0,5} \times 350 \times 489 \\ &= 638993 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,75 \\ V_n &= 483915 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 185817 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n / V_u &= 0,75 \times \frac{48391}{185817} \\ &= 1,953 \end{aligned}$$

Cek Kapasitas : $\phi V_n / V_u \geq 1 \rightarrow \text{OK}$

- **Perencanaan Tulangan Geser Lapangan**

- **Penulangan Geser**

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

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\ &= 235,619 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi} = 150$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Max} &= d/2 \\ &= 489/2 \\ &= 244,50 \end{aligned}$$

Cek Spasi : → OK

$$\begin{aligned} V_s &= A_v \times f_{yv} \times \frac{d}{s} \\ &= 235,619 \times 420 \times \frac{489}{150} \\ &= 322610 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Batas } V_s = 0,66 \times f'c^{0,5} \times b \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,66 \times 32^{0,5} \times 350 \times 489 \\
 &= 638993 \text{ N} \\
 V_c &= 0,17 \times f'c^{0,5} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times 32^{0,5} \times 350 \times 489 \\
 &= 164589 \text{ N} \\
 \Phi &= 0,75 \\
 V_n &= 487199 \text{ N} \\
 V_u &= \frac{Vu \text{ lapangan}}{1000} \\
 &= \frac{18,2584}{1000} \\
 &= 18258,4 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u &= 0,75 \times \frac{487199}{18258,4} \\
 &= 20,013 \\
 \text{Cek Kapasitas : } \phi V_n / V_u &\geq 1 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

Table 2. 18 Rekap Balok Induk 350 x 550

Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Kapasitas Torsi	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	5 D22
Longitudinal Tumpuan Tengah	4 D10
Longitudinal Tumpuan Bawah	5 D22
Longitudinal Lapangan Atas	3 D22
Longitudinal Lapangan Tengah	4 D10
Longitudinal Lapangan Bawah	4 D22
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	3D10-100
Sengkang Lapangan	3D10-150

Berikut adalah rekapan balok induk di Gedung Perpustakaan Kalimantan Timur yang tertera pada tabel 2.19

Table 2. 19 Rekapitulasi Balok Induk Gedung Perpustakaan

Balok (mm ²)	Bentang (m)	Tulangan	Tumpuan (-)	Tumpuan (+)	Lapangan (-)	Lapangan (+)
450 x 750	9	Longitudinal	6D22	6D22	5D22	5D22
		Geser	3D10-100		3D10-150	
350 x 550	6	Longitudinal	5D22	3D22	5D22	4D22
		Geser	3D10-100		3D10-150	

2.10 Perancangan Kolom SRPMK

Perancangan kolom pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) mencakup beberapa aspek penting, yaitu perencanaan tulangan longitudinal, tulangan transversal, serta perhitungan panjang penyaluran tulangan. Untuk perencanaan tulangan longitudinal, pendekatan yang digunakan adalah konsep kolom kuat balok lemah (*Strong Column Weak Beam* atau SCWB). Proses ini biasanya dilakukan dengan bantuan perangkat lunak seperti ETABS, spColumn, dan Excel.

Secara umum, desain kolom ditentukan dengan memastikan dimensi terkecil kolom sama dengan atau lebih besar dari lebar balok. Selain itu, terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam perancangan kolom SRPMK, di antaranya: dimensi penampang terkecil yang diukur pada garis lurus melalui pusat geometri harus minimal 300 mm, dan rasio antara dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak boleh kurang dari 0,4. Berikut adalah tahapan yang dilakukan dalam merancang kolom SRPMK.

1. Perancangan Kolom Longitudinal

▪ Kolom 800 x 800

rekap gaya dalam seperti yang tertera pada tabel

Table 2. 20 Rekap Gaya Dalam Kolom

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	4,355	0,018	1,314
P min	-10,062	-2,611	-0,057
M2 Max	0,001	61,140	0,276
M2 Min	-0,003	-48,495	-0,061
M3 Max	0,584	4,927	30,076
M3 Min	-0,787	-33,857	-15,360

• Data Kolom 800 x 800

Panjang/Tinggi Kolom, L = 4000 mm

Sisi Pendek Kolom, b = 800 mm

Sisi Panjang Kolom, h = 800 mm

Diameter Tulangan Longitudinal, db = 25 mm

Diameter Tulangan Sengkang, ds = 13 mm

Selimut Bersih, cc = 40 mm

Kuat Tekan Beton, f_c' = 32 Mpa

Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y = 420 Mpa

Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv} = 420 Mpa

Tinggi Balok, hb = 750 mm

L_n = 3250 mm

• Syarat Gaya dan Geometri

Syarat Gaya Aksial : $P_u > 0.1 A_g f_c' \rightarrow \text{OK}$

Syarat Sisi Terpendek : $b \geq 300 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$

Syarat Rasio Dimensi Penampang : $b/h \geq 0.4 \rightarrow \text{OK}$

• Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur

Jumlah Tulangan, n = 32

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Tulangan Longitudinal, } A_s &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\
 &= 32 \times \frac{\pi}{4} \times 25^2 \\
 &= 15708,0 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio Tulangan, } \rho &= \frac{A_s}{(b \times h)} \\
 &= \frac{15708,0}{(800 \times 800)} \\
 &= 2,45 \%
 \end{aligned}$$

Cek $\rho_{\min}$ dan $\rho_{\max}$: $1\% \leq \rho \leq 6\% \rightarrow \text{OK}$

• **Pengecekan Strong Column - Weak Beam (SCWB)**

$$\begin{aligned}
 \text{Momen Nominal Kolom, } M_{nc} &= 687,909 \text{ kNm} \\
 M_{n-} \text{ Tumpuan Balok} &= 622,532 \text{ kNm} \\
 M_{n+} \text{ Tumpuan Balok} &= 523,983 \text{ kNm} \\
 \text{Cek SCWB : } 2 \times M_{nc} &\geq 1.2 \times (M_{n-} + M_{n+}) \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

2. **Tulangan Transversal**

• **Panjang Zona Sendi Plastis**

$$\begin{aligned}
 l_{o1} &= h \\
 &= 800 \\
 l_{o2} &= \frac{L_n}{6} \\
 &= \frac{3250}{6} \\
 &= 541,7 \text{ mm} \\
 l_{o3} &= 450 \text{ mm} \\
 l_o &= \text{Max } (l_{o1} : l_{o2} : l_{o3}) \\
 &= 800,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

• **Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan**

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Kaki Sisi Pendek, } n_1 &= 4 \\
 \text{Jumlah Kaki Sisi Panjang, } n_2 &= 4 \\
 \text{Spasi, } s &= 100 \\
 \text{Spasi Kaki Terbesar, } x_{i \text{ max}} &= 300 \\
 A_{sh \ 1} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 25^2 \\
 &= 530,929 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ash 2} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
 &= 530,929 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ash / s, 1} &= 5,309 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ash / s,} &= 5,309 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

• **Confinement/Kekangan Zona Sendi Plastis**

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar Penampang Inti Beton, } b_c &= b - 2c_c \\
 &= 720 \text{ mm} \\
 \text{Panjang Penampang Inti Beton, } h_c &= h - 2c_c \\
 &= 720 \text{ mm} \\
 \text{Luas Penampang Kolom, } A_g &= b \times h \\
 &= 800 \times 800 \\
 &= 640000 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas Penampang Inti Beton, } A_{ch} &= b_c \times h_c \\
 &= 720 \times 720 \\
 &= 518400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

➤ **Sisi Pendek/Sumbu Lemah**

$$\begin{aligned}
 \text{Ash/s min, 1} &= 0,3 \times \left(\frac{b_c \times f'_c}{f_{yv}} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}-1} \right) \\
 &= 0,3 \times \left(\frac{720 \times 32}{420} \right) \times \left(\frac{640000}{518400-1} \right) \\
 &= 3,860 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ash/s min, 2} &= 0,09 \times h_c \times f'_c / f_{yv} \\
 &= 0,09 \times 720 \times 32 / 420 \\
 &= 4,937 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek Ash/s 1 : Ash/s 1 $\geq$ Ash/s min $\rightarrow$ OK

➤ **Sisi Panjang/Sumbu Kuat**

$$\begin{aligned}
 \text{Ash/s min, 1} &= 0,3 \times \left(\frac{b_c \times f'_c}{f_{yv}} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}-1} \right) \\
 &= 0,3 \times \left(\frac{720 \times 32}{420} \right) \times \left(\frac{640000}{518400-1} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,860 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ash/s min, 2} &= 0,09 \times hc \times f'c / fyv \\
 &= 0,09 \times 720 \times 32 / 420 \\
 &= 4,937 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek Ash/s 2 : Ash/s 2 $\geq$ Ash/s min $\rightarrow$ OK

➤ Cek Spasi

$$\begin{aligned}
 s_{\max,1} &= \frac{b}{4} \\
 &= \frac{800}{4} \\
 &= 200 \text{ mm} \\
 s_{\max,2} &= 6 \times db \\
 &= 6 \times 25 \\
 &= 150 \text{ mm} \\
 h_x &= 300 \text{ mm} \\
 s_{\max,3} = s_o &= 116,667 \text{ mm} \\
 s_{\max} &= 116,667 \text{ mm} \\
 \text{Cek Spasi} &\rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

• **Kuat Geser Zona Sendi Plastis**

➤ Gaya Geser Desain

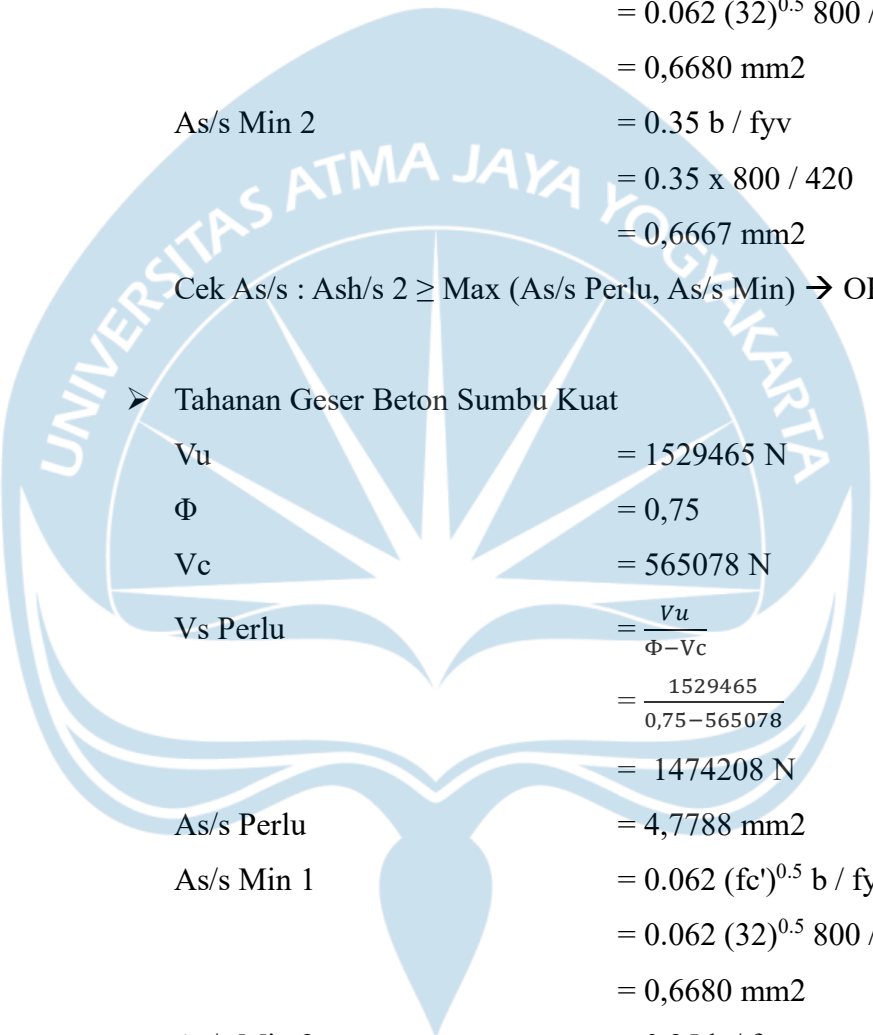
$$\begin{aligned}
 \text{Mpr Kolom} &= 2485,380 \text{ kNm} \\
 V_u 1 &= 2 \times \text{Mpr Kolom} / L_n \\
 &= 2 \times 2485,380 / 3250 \\
 &= 1529465 \text{ N}
 \end{aligned}$$

➤ Gaya Geser Hasil Analisis Struktur

$$\begin{aligned}
 V_u 2, \text{ Sumbu Lemah} &= 99559 \text{ N} \\
 V_u 2, \text{ Sumbu Kuat} &= 33899 \text{ N}
 \end{aligned}$$

➤ Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$\begin{aligned}
 V_u &= 1529465 \text{ N} \\
 \Phi &= 0,75 \\
 V_c &= 565078 \text{ N}
 \end{aligned}$$



$$V_s \text{ Perlu} = \frac{V_u}{\Phi - V_c}$$

$$= \frac{1529465}{0,75 - 565078}$$

$$= 1474208 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = 4,7788 \text{ mm}^2$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv}$$

$$= 0.062 (32)^{0.5} 800 / 420$$

$$= 0,6680 \text{ mm}^2$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = 0.35 b / f_{yv}$$

$$= 0.35 \times 800 / 420$$

$$= 0,6667 \text{ mm}^2$$

Cek $A_s/s : A_s/s \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min}) \rightarrow \text{OK}$

➤ **Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat**

$$V_u = 1529465 \text{ N}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$V_c = 565078 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \frac{V_u}{\Phi - V_c}$$

$$= \frac{1529465}{0,75 - 565078}$$

$$= 1474208 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = 4,7788 \text{ mm}^2$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv}$$

$$= 0.062 (32)^{0.5} 800 / 420$$

$$= 0,6680 \text{ mm}^2$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = 0.35 b / f_{yv}$$

$$= 0.35 \times 800 / 420$$

$$= 0,6667 \text{ mm}^2$$

Cek $A_s/s : A_s/s \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min}) \rightarrow \text{OK}$

- **Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan**

Jumlah Kaki Sisi Pendek, n_1	= 2
Jumlah Kaki Sisi Panjang, n_2	= 2
Spasi, s	= 150 mm
Av Sumbu Lemah	$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$ $= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2$ $= 265,465 \text{ mm}^2$
Av Sumbu Kuat	$= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2$ $= 265,465 \text{ mm}^2$

- **Confinement/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis**

Spasi max 1	$= 4 \times d_b$ $= 4 \times 25$ $= 150,0$
Spasi max 2	= 150,0 mm
Cek Spasi : $\text{Spasi} \leq \text{Spasi Max} \rightarrow \text{OK}$	

- **Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis**

- Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

V_u	= 99559 N
Φ	= 0,75
V_c	= 565078 N
$V_s \text{ Perlu}$	= 0
$A_v/s \text{ Perlu}$	= 0,0000
$A_s/s \text{ Perlu}$	= 0,0000 mm ²
$A_s/s \text{ Min 1}$	$= 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv}$ $= 0.062 (32)^{0.5} 800 / 420$ $= 0,0000 \text{ mm}^2$
$A_s/s \text{ Min 2}$	$= 0.35 b / f_{yv}$ $= 0.35 \times 800 / 420$ $= 0,0000 \text{ mm}^2$

Cek A_s/s : $A_s/s \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min}) \rightarrow \text{OK}$

➤ Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$\begin{aligned}
 V_u &= 33899 \text{ N} \\
 \Phi &= 0,75 \\
 V_c &= 565078 \text{ N} \\
 V_s \text{ Perlu} &= 0 \\
 A_v/s \text{ Perlu} &= 0,0000 \\
 A_s/s \text{ Perlu} &= 0,0000 \text{ mm}^2 \\
 A_s/s \text{ Min 1} &= 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv} \\
 &= 0.062 (32)^{0.5} 800 / 420 \\
 &= 0,0000 \text{ mm}^2 \\
 A_s/s \text{ Min 2} &= 0.35 b / f_{yv} \\
 &= 0.35 \times 800 / 420 \\
 &= 0,0000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek As/s : $A_s/s \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min}) \rightarrow \text{OK}$

1. Perancangan Kolom Longitudinal

▪ Dimensi kolom 500 x 500

Rekap gaya dalam:

Table 2. 21 Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom 500 x 500

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	23,194	2,935	2,159
P min	-1241,323	28,224	34,829
M2 Max	277,272	37,898	31,549
M2 Min	-1218,600	-37,404	-0,053
M3 Max	358,177	32,085	37,165
M3 Min	-335,203	-35,134	-42,691

- **Data Kolom 500 x 500**

Panjang/Tinggi Kolom, L	= 4000 mm
Sisi Pendek Kolom, b	= 500 mm
Sisi Panjang Kolom, h	= 500 mm
Diameter Tulangan Longitudinal, db	= 25 mm
Diameter Tulangan Sengkang, ds	= 13 mm
Selimut Bersih, cc	= 40 mm
Kuat Tekan Beton, f_c'	= 32 Mpa
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y	= 420 Mpa
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}	= 420 Mpa
Tinggi Balok, hb	= 750 mm
L_n	= 3250 mm

- **Syarat Gaya dan Geometri**

Syarat Gaya Aksial : $P_u > 0.1 A_g f_c' \rightarrow \text{OK}$

Syarat Sisi Terpendek : $b \geq 300 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$

Syarat Rasio Dimensi Penampang : $b/h \geq 0.4 \rightarrow \text{OK}$

- **Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur**

Jumlah Tulangan, n	= 20
Luas Tulangan Longitudinal, A_s	$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$ $= 20 \times \frac{\pi}{4} \times 25^2$ $= 9817,5 \text{ mm}^2$
Rasio Tulangan, ρ	$= \frac{A_s}{(b \times h)}$ $= \frac{9817,5}{(500 \times 500)}$ $= 3,93 \%$

Cek p_{min} dan p_{max} : $1\% \leq \rho \leq 6\% \rightarrow \text{OK}$

- **Pengecekan Strong Column - Weak Beam (SCWB)**

Momen Nominal Kolom, M_{nc}	= 367,662 kNm
M_n - Tumpuan Balok	= 276,909 kNm
M_n + Tumpuan Balok	= 235,860 kNm
Cek SCWB : $2 \times M_{nc} \geq 1.2 \times (M_n - + M_n +) \rightarrow \text{OK}$	

3. Tulangan Transversal

- Panjang Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 lo1 &= h \\
 &= 500 \\
 lo2 &= \frac{Ln}{6} \\
 &= \frac{3250}{6} \\
 &= 541,7 \text{ mm} \\
 lo3 &= 450 \text{ mm} \\
 lo &= \text{Max} (lo1 : lo2 : lo3) \\
 &= 541,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Kaki Sisi Pendek, } n1 &= 4 \\
 \text{Jumlah Kaki Sisi Panjang, } n2 &= 4 \\
 \text{Spasi, } s &= 100 \\
 \text{Spasi Kaki Terbesar, } xi \text{ max} &= 300 \\
 \text{Ash 1} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 25^2 \\
 &= 530,929 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ash 2} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
 &= 530,929 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ash / s, 1} &= 5,309 \text{ mm}^2 \\
 \text{Ash / s,} &= 5,309 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Confinement/Kekangan Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar Penampang Inti Beton, } bc &= b - 2cc \\
 &= 500 - 2 \times 44 \\
 &= 420 \text{ mm} \\
 \text{Panjang Penampang Inti Beton, } hc &= h - 2cc \\
 &= 500 - 2 \times 44 \\
 &= 420 \text{ mm} \\
 \text{Luas Penampang Kolom, } Ag &= b \times h
 \end{aligned}$$

Luas Penampang Inti Beton, A_c

$$\begin{aligned}
 &= 500 \times 500 \\
 &= 250000 \text{ mm}^2 \\
 &= b_c \times h_c \\
 &= 420 \times 420 \\
 &= 176400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

➤ Sisi Pendek/Sumbu Lemah

Ash/s min, 1

$$\begin{aligned}
 &= 0,3 \times \left(\frac{b_c \times f'_c}{f_{yv}} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_c - 1} \right) \\
 &= 0,3 \times \left(\frac{420 \times 32}{420} \right) \times \left(\frac{250000}{176400 - 1} \right) \\
 &= 4,005 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Ash/s min, 2

$$\begin{aligned}
 &= 0,09 \times h_c \times f'_c / f_{yv} \\
 &= 0,09 \times 420 \times 32 / 420 \\
 &= 2,880 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek Ash/s 1 : $A_{sh/s\ 1} \geq A_{sh/s\ min} \rightarrow OK$

➤ Sisi Panjang/Sumbu Kuat

Ash/s min, 1

$$\begin{aligned}
 &= 0,3 \times \left(\frac{b_c \times f'_c}{f_{yv}} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_c - 1} \right) \\
 &= 0,3 \times \left(\frac{420 \times 32}{420} \right) \times \left(\frac{250000}{176400 - 1} \right) \\
 &= 4,005 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Ash/s min, 2

$$\begin{aligned}
 &= 0,09 \times h_c \times f'_c / f_{yv} \\
 &= 0,09 \times 420 \times 32 / 420 \\
 &= 2,880 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek Ash/s 2 : $A_{sh/s\ 2} \geq A_{sh/s\ min} \rightarrow OK$

➤ Cek Spasi

$s_{max,1}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{b}{4} \\
 &= \frac{500}{4} \\
 &= 125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$s_{max,2}$

$$\begin{aligned}
 &= 6 \times d_b \\
 &= 6 \times 25 \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_x &= 300 \text{ mm} \\
 s_{\max,3} = s_o &= 116,667 \text{ mm} \\
 s_{\max} &= 116,667 \text{ mm} \\
 \text{Cek Spasi} &\rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

• **Kuat Geser Zona Sendi Plastis**

➤ Gaya Geser Desain

$$\begin{aligned}
 M_{pr} \text{ Kolom} &= 1286,250 \text{ kNm} \\
 V_u 1 &= 2 \times M_{pr} \text{ Kolom} / L_n \\
 &= 2 \times 1286,250 / 3250 \\
 &= 791538 \text{ N}
 \end{aligned}$$

➤ Gaya Geser Hasil Analisis Struktur

$$\begin{aligned}
 V_u 2, \text{ Sumbu Lemah} &= 24004 \text{ N} \\
 V_u 2, \text{ Sumbu Kuat} &= 22299 \text{ N}
 \end{aligned}$$

➤ Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$\begin{aligned}
 V_u &= 791538 \text{ N} \\
 \Phi &= 0,75 \\
 V_c &= 210306 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ Perlu} &= \frac{V_u}{\Phi - V_c} \\
 &= \frac{791538}{0,75 - 210306} \\
 &= 845079 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$A_{s/s} \text{ Perlu} = 4,6308 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{s/s} \text{ Min 1} &= 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv} \\
 &= 0.062 (32)^{0.5} 500 / 420 \\
 &= 0,4175 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s/s} \text{ Min 2} &= 0.35 b / f_{yv} \\
 &= 0.35 \times 500 / 420 \\
 &= 0,4167 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek } A_{s/s} : A_{s/s} 2 \geq \text{Max} (A_{s/s} \text{ Perlu}, A_{s/s} \text{ Min}) \rightarrow \text{OK}$$

➤ Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u = 791538 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi &= 0,75 \\
 V_c &= 210306 \text{ N} \\
 V_s \text{ Perlu} &= \frac{V_u}{\Phi - V_c} \\
 &= \frac{791538}{0,75 - 210306} \\
 &= 845079 \text{ N} \\
 A_s/s \text{ Perlu} &= 4,6308 \text{ mm}^2 \\
 A_s/s \text{ Min 1} &= 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv} \\
 &= 0.062 (32)^{0.5} 500 / 420 \\
 &= 0,4175 \text{ mm}^2 \\
 A_s/s \text{ Min 2} &= 0.35 b / f_{yv} \\
 &= 0.35 \times 500 / 420 \\
 &= 0,4167 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek } A_s/s : A_s/s \geq \text{Max } (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min}) &\rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

• **Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan**

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Kaki Sisi Pendek, } n_1 &= 2 \\
 \text{Jumlah Kaki Sisi Panjang, } n_2 &= 2 \\
 \text{Spasi, } s &= 150 \text{ mm} \\
 A_v \text{ Sumbu Lemah} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
 &= 265,465 \text{ mm}^2 \\
 A_v \text{ Sumbu Kuat} &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
 &= 265,465 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

• **Confinement/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis**

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi max 1} &= 4 \times d_b \\
 &= 4 \times 25 \\
 &= 150,0 \\
 \text{Spasi max 2} &= 150,0 \text{ mm} \\
 \text{Cek Spasi : Spasi} &\leq \text{Spasi Max} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

• **Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis**

➤ Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$\begin{aligned}
 V_u &= 24004 \text{ N} \\
 \Phi &= 0,75 \\
 V_c &= 210306 \text{ N} \\
 V_s \text{ Perlu} &= 0 \\
 A_v/s \text{ Perlu} &= 0,0000 \\
 A_s/s \text{ Perlu} &= 0,0000 \text{ mm}^2 \\
 A_s/s \text{ Min 1} &= 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv} \\
 &= 0.062 (32)^{0.5} 500 / 420 \\
 &= 0,0000 \text{ mm}^2 \\
 A_s/s \text{ Min 2} &= 0.35 b / f_{yv} \\
 &= 0.35 \times 500 / 420 \\
 &= 0,0000 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek } A_s/s : A_s/s \geq \text{Max } (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min}) &\rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

➤ Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$\begin{aligned}
 V_u &= 22299 \text{ N} \\
 \Phi &= 0,75 \\
 V_c &= 210306 \text{ N} \\
 V_s \text{ Perlu} &= 0 \\
 A_v/s \text{ Perlu} &= 0,0000 \\
 A_s/s \text{ Perlu} &= 0,0000 \text{ mm}^2 \\
 A_s/s \text{ Min 1} &= 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv} \\
 &= 0.062 (32)^{0.5} 500 / 420 \\
 &= 0,0000 \text{ mm}^2 \\
 A_s/s \text{ Min 2} &= 0.35 b / f_{yv} \\
 &= 0.35 \times 500 / 420 \\
 &= 0,0000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek } A_s/s : A_s/s \geq \text{Max } (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min}) \rightarrow \text{OK}$$

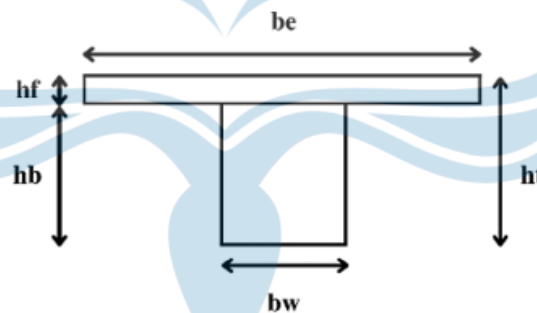
Berikut adalah hasil rekapan tulangan kolom untuk Gedung Kantor Pengelola seperti yang tertera pada tabel 2.22

Table 2. 22 Rekapitulasi Tulangan Kolom

Tipe	K1 800 x 800		K2 500 x 500	
Posisi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Tul. Utama	4D13-100	4D13-100	4D13-100	4D13-100
Sengkang	2D13-150	2D13-150	2D13-150	2D13-150
Sel. Beton	40 mm			
Mutu beton	$F'_c = 32 \text{ Mpa}$			
Mutu baja	Longitudinal, BJTS 420; sengkang, BJTS 280			

2.11 Perancangan Pelat Lantai

Perancangan pelat lantai dua arah dilakukan menggunakan metode desain langsung (*Direct Design Method*), dengan penentuan momen berdasarkan ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 8.10. Dalam desain pelat dua arah, momen akan ditahan di setiap sisinya, sehingga analisis dilakukan untuk dua arah, yaitu arah memanjang dan arah memendek, guna menentukan kebutuhan tulangannya. Ketebalan pelat dapat ditentukan dengan menghitung inersia balok. Pada gambar 2.18 ditunjukkan penampang dimensi yang digunakan dalam, perancangan ketebalan pelat:



Gambar 2. 18 Dimensi Perancangan Ketebalan Pelat

Ukuran balok = 750 x 450 mm

f_y = 420 Mpa

b_w = 450 mm

h_t = 750 mm

h_f = 130 mm

h_b = 620 mm

- Nilai lebar efektif (be)

$$\begin{aligned} be1 &= bw + (2 \times hb) \\ &= 450 + (2 \times 620) \\ &= 1690 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} be2 &= bw + (8 \times hf) \\ &= 450 + (8 \times 130) \\ &= 1490 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nilai lebar efektif (be) yang digunakan merupakan nilai tertekil dari perhitungan. Didapat nilai lebar efektif sebesar 1690 mm dan didapat nilai sebesar 1490. sehingga digunakan nilai lebar efektif (be) yang paling kecil yaitu sebesar 1490 mm.

Untuk menentukan tebal pelat, diperlukan nilai inersia balok (Ib). Berikut merupakan perhitungan inersia balok:

$$\begin{aligned} A1 &= hb \times bw \\ &= 620 \times 450 \\ &= 279000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A2 &= be \times hf \\ &= 1690 \times 130 \text{ mm} \\ &= 219700 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$y1 = \frac{hb}{2} = \frac{620}{2} = 310 \text{ mm}$$

$$y2 = hb + \frac{hf}{2} = 620 + \frac{130}{2} = 685 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} y &= \frac{A1xy1 + A2xy2}{A1 + A2} \\ &= \frac{(279000 \times 310) + (219700 \times 685)}{279000 + 219700} \\ &= \frac{236984500}{498700} \end{aligned}$$

$$= 475,204532 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Ib &= \frac{1}{12} \times bw \times hb^3 + A1 \times (y - y1)^2 + \frac{1}{12} \times be \times hf^3 + A2 \times (y2 - y)^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 450 \times 620^3 + 279000 \times (475,204532 - 310)^2 + \frac{1}{12} \times 1690 \\ &\quad \times 130^3 + 219700 \times (685 - 475,204532)^2 \\ &= 26531234971 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, didapatkan nilai inersia balok sebesar 2653123497 mm^4 . setelah didapatkan nilai inersia balok, maka direncanakan tebal pelat atap sebagai berikut:

2.11.1 Perancangan Pelat Lantai Type A1

Perencanaan tebal pada pelat Lantai dilakukan dengan menggunakan data-data sebagai berikut ini:

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

$$L_y = 9000 \text{ mm}$$

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{9000}{7000}$$

$= 1 < 2$, maka merupakan jenis pelat 2 arah

$$\begin{aligned} I_{s \text{ betang panjang}} &= \frac{1}{12} \times L_y \times h f^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 9000 \times 130^3 \\ &= 19773000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{s \text{ bentang pendek}} &= \frac{1}{12} \times L_x \times h f^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 7000 \times 130^3 \\ &= 15379000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{f1} &= \frac{I_b}{I_{s \text{ bentang panjang}}} \\ &= \frac{26531234971}{19773000000} \\ &= 1,3333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{f2} &= \frac{I_b}{I_{s \text{ bentang pendek}}} \\ &= \frac{26531234971}{15379000000} \\ &= 1,7142 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{fm} &= \frac{\alpha_{f1} + \alpha_{f2}}{2} \\ &= \frac{1,3333 + 1,7142}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{l_{ny}}{l_{nx}} \\ &= \frac{4050}{3050} \\ &= 1,3279 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847 : 2019, pasal 8.3.1.1 h minimum untuk nilai $\alpha fm > 2$ maka berlaku sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_{min} &= \frac{lny (0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9\beta} \\ &= \frac{4050 (0,8 + \frac{420}{1400})}{36 + 9(1,3279)} \\ &= 92,91 \text{ mm} \end{aligned}$$

$H_{min} > 90$ maka diizinkan, sehingga menggunakan tebal pelat 130 mm

hpakai = 130 mm

2.11.2 Perancangan Pelat Lantai Type A2

Perencanaan tebal pada pelat Lantai dilakukan dengan menggunakan data-data sebagai berikut ini:

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

$$L_y = 9000 \text{ mm}$$

$$\frac{ly}{lx} = \frac{9000}{7000}$$

= 1 < 2, maka merupakan jenis pelat 2 arah

$$\begin{aligned} I_{s \text{ bentang panjang}} &= \frac{1}{12} \times L_y \times hf^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 9000 \times 130^3 \\ &= 19773000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{s \text{ bentang pendek}} &= \frac{1}{12} \times L_x \times hf^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 6000 \times 130^3 \\ &= 13182000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{f1} &= \frac{I_b}{I_{s \text{ bentang panjang}}} \\ &= \frac{26531234971}{19773000000} \\ &= 1,3333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{f2} &= \frac{I_b}{I_{s \text{ bentang pendek}}} \\ &= \frac{26531234971}{131182000000} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{fm} &= 1,9999 \\
 &= \frac{\alpha f_1 + \alpha f_2}{2} \\
 &= \frac{1,3333 + 1,9999}{2} \\
 &= 2,33322862 \\
 \beta &= \frac{\ln y}{\ln x} \\
 &= \frac{4500}{3000} \\
 &= 1,5000
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847 : 2019, pasal 8.3.1.1 h minimum untuk nilai $\alpha f m > 2$ maka berlaku sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 H_{min} &= \frac{\ln y \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \\
 &= \frac{4500 \left(0,8 + \frac{420}{1400}\right)}{36 + 9(1,5000)} \\
 &= 100,00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$H_{min} > 90$ maka diizinkan, sehingga menggunakan tebal pelat 130 mm

$$h_{pakai} = 130 \text{ mm}$$

Table 2. 23 Rekapitulasi Tebal Pelat Lantai

Pelat	Lx (mm)	Ly (mm)	Ly/Lx	Jenis Pelat	Hmin (mm)	Hpakai (mm)
A1	7000	9000	1,29	2 arah	90	130
A2	6000	9000	1,50	2 arah	90	130

• Rencana Penulangan Pelat Lantai

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 f_y &= 420 \\
 f_c &= 32 \\
 h_t &= 130 \\
 \text{Diameter tul. Lentur} &= 10 \\
 \text{D tul. susut} &= 8
 \end{aligned}$$

B	= 1000
Ø	= 0,8
Selimut Beton	= 20
Beban Mati (DL)	= 580,2 kg/m ²
Beban hidup (DL)	= 262,07 kg/m ²
Kombinasi beban :	
U = 1,2DL + 1,6LL	1115,552 kg/m ²

➤ **Pelat A1**

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

$$L_y = 9000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_y/L_x &= \frac{L_y}{L_x} \\ &= \frac{9000}{7000} \\ &= 1,29 \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Pelat, Nilai momen yang bekerja pada pelat lantai yang ditentukan dengan Tabel Koefisien Momen PBI 1971.

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times U \times l_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 1115,552 \times 7^2 \times 50 \\ &= 2733,1024 \text{ kg.m} \\ &= 2,733 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0,001 \times U \times l_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 1115,552 \times 7^2 \times 38 \\ &= 2077,157824 \text{ kg.m} \\ &= 2,077 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= -0,001 \times U \times l_x^2 \times X \\ &= -0,001 \times 1115,552 \times 7^2 \times 50 \\ &= -2733,1024 \text{ kg.m} \\ &= -2,733 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= -0,001 \times U \times l_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 1115,552 \times 7^2 \times 38 \\ &= -2077,157824 \text{ kg.m} \\ &= -2,077 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- **Cek Geser Pelat**

Diketahui :

Tebal pelat = 130 mm

Beban total (W) = 844,965 kN

Panjang bentang efektif (L) = 9000 mm

f'_c = 32 MPa

f_y = 420 MPa

Diameter tulangan = 10 mm

Selimut beton = 20 mm

a. Menghitung gaya geser maksimum (V_u)

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{w \times L}{2} \\ &= \frac{844,965 \times 9000}{2} \\ &= 3802,3425 \text{ Kn} \end{aligned}$$

b. Menghitung tinggi efektif pelat (d)

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut beton} - 0,5 \times \text{diameter tulangan} \\ &= 130 - 20 - 0,5 \times 10 \\ &= 105 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Menghitung kapasitas geser beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{32} \times 1000 \times 105 \\ &= 101 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, didapatkan :

$$\begin{aligned} V_u &> V_c \\ 3802,3425 &> 101 \quad (\text{Aman}) \end{aligned}$$

1. Perhitungan Tulangan Lentur Pelat

a) Tulangan Lapangan/Tumpuan Arah X

$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + \frac{1}{2} \times \text{diameter tulangan}) \\ &= 130 - (20 + \frac{1}{2} \times 10) \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$= 3416378 \text{ N.mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= 0,0033$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 30)}{7}$$

$$= 0,836$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \left(\beta_1 \times \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right)$$

$$= 0,024$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= 0,31 \text{ Mpa}$$

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

$$= 0,00270$$

karena $\rho = 0,00270 \leq \rho_{\min} = 0,0033$, maka dipakai $\rho_{\min} = 0,0033$

Luas tulangan perlu :

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 3500,000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak Tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$= 224,286 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan $\phi 10 - 150$

Jarak antar tulangan ditentukan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3 dimana spasi maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari $3h$ dan 450 mm . Maka jarak tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$S_{\max} = 3h$$

$$= 390 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

Cek jarak antar tulangan $150 \text{ mm} < 3h = 390 \text{ mm}$ dan $< 450 \text{ mm}$

b) Tulangan Lapangan/Tumpuan Arah Y

$$dx = \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + \frac{1}{2} \times \text{diameter tulangan})$$

$$= 130 - \left(20 + \frac{1}{2} \times 10 \right)$$

$$= 150 \text{ mm}$$

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

$$= 3416378 \text{ N.mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= 0,0033$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 30)}{7}$$

$$= 0,836$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \left(\beta_1 \times \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right)$$

$$= 0,024$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= 0,31 \text{ Mpa}$$

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

$$= 0,00270$$

karena $\rho = 0,00270 \leq \rho_{\min} = 0,0033$, maka dipakai $\rho_{\min} = 0,0033$

Luas tulangan perlu :

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 3500,000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak Tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$= 224,286 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan $\phi 10 - 150$

Jarak antar tulangan ditentukan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3 dimana spasi maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari $3h$ dan 450 mm . Maka jarak tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$S_{\max} = 3h$$

$$= 390 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

Cek jarak antar tulangan $150 \text{ mm} < 3h = 390 \text{ mm}$ dan $< 450 \text{ mm}$

→ OK

c) Tulangan Susut dan Suhu

$$\begin{aligned} A_s \text{ susut} &= \frac{0,025 \times b \times h}{100} \\ &= 32,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Atau:

$$\begin{aligned} A_s \text{ susut} &= 20\% A_s \text{ pokok} \\ &= 70,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} \\ &= 717,714 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan $\phi 8 - 300$

Jarak antar tulangan ditentukan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3 dimana spasi maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari $3h$ dan 450 mm . Maka jarak tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 3h \\ &= 390 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

Cek jarak antar tulangan $150 \text{ mm} < 3h = 390 \text{ mm}$ dan $< 450 \text{ mm}$

→ OK

➤ Pelat A2

$$L_x = 6000$$

$$L_y = 9000$$

$$\begin{aligned} L_y/L_x &= \frac{L_y}{L_x} \\ &= \frac{9000}{6000} \\ &= 1,50 \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Pelat, Nilai momen yang bekerja pada pelat lantai yang ditentukan dengan Tabel Koefisien Momen PBI 1971.

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= 0,001 \times U \times l x^2 \times X \\
 &= 0,001 \times 1115,552 \times 6^2 \times 56 \\
 &= 2248,952832 \text{ kg.m} \\
 &= 2,249 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ly} &= 0,001 \times U \times l x^2 \times X \\
 &= 0,001 \times 1115,552 \times 6^2 \times 37 \\
 &= 1485,915264 \text{ kg.m} \\
 &= 1,486 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{tx} &= -0,001 \times U \times l x^2 \times X \\
 &= -0,001 \times 1115,552 \times 6^2 \times 56 \\
 &= -2248,952832 \text{ kg.m} \\
 &= -2,249 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ty} &= -0,001 \times U \times l x^2 \times X \\
 &= 0,001 \times 1115,552 \times 6^2 \times 37 \\
 &= -1485,915264 \text{ kg.m} \\
 &= -1,486 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

1. Perhitungan Tulangan Lentur Pelat

d) Tulangan Lapangan/Tumpuan Arah X

$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + \frac{1}{2} \times \text{diameter tulangan}) \\
 &= 130 - (20 + \frac{1}{2} \times 10) \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= 3416378 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= 0,0033
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 30)}{7} \\
 &= 0,836
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \left(\beta_1 \times \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right) \\
 &= 0,024
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= 0,31 \text{ Mpa} \\
 \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_y}} \right) \right) \\
 &= 0,00270
 \end{aligned}$$

karena $\rho = 0,00270 \leq \rho_{\min} = 0,0033$, maka dipakai $\rho_{\min} = 0,0033$

Luas tulangan perlu :

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 3500,000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak Tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} \\
 &= 224,286 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan $\phi 10 - 150$

Jarak antar tulangan ditentukan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3 dimana spasi maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari $3h$ dan 450 mm . Maka jarak tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 3h \\
 &= 390 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

Cek jarak antar tulangan $150 \text{ mm} < 3h = 390 \text{ mm}$ dan $< 450 \text{ mm}$

e) Tulangan Lapangan/Tumpuan Arah Y

$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + \frac{1}{2} \times \text{diameter tulangan}) \\
 &= 130 - (20 + \frac{1}{2} \times 10) \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= 3416378 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= 0,0033
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 30)}{7} \\
 &= 0,836
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \left(\beta_1 \times \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right)$$

$$= 0,024$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= 0,31 \text{ Mpa}$$

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

$$= 0,00270$$

karena $\rho = 0,00270 \leq \rho_{\min} = 0,0033$, maka dipakai $\rho_{\min} = 0,0033$

Luas tulangan perlu :

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 3500,000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak Tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$= 224,286 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan $\phi 10 - 150$

Jarak antar tulangan ditentukan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3 dimana spasi maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari $3h$ dan 450 mm . Maka jarak tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$S_{\max} = 3h$$

$$= 390 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

Cek jarak antar tulangan $150 \text{ mm} < 3h = 390 \text{ mm}$ dan $< 450 \text{ mm}$

→ OK

f) Tulangan Susut dan Suhu

$$A_s \text{ susut} = \frac{0,025 \times b \times h}{100}$$

$$= 32,5 \text{ mm}^2$$

Atau:

$$A_s \text{ susut} = 20\% A_s \text{ pokok}$$

$$= 70,000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak Tulangan} &= \frac{\frac{1}{4} \pi x \phi^2 x b}{A_s} \\ &= 717,714\end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan $\phi 8 - 300$

Jarak antar tulangan ditentukan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3 dimana spasi maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari $3h$ dan 450 mm . Maka jarak tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}S_{\max} &= 3h \\ &= 390 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

Cek jarak antar tulangan $150 \text{ mm} < 3h = 390 \text{ mm}$ dan $< 450 \text{ mm}$

→ OK

Sehingga rekapan tulangan lentur dan tulangan susut pada pelat lantai dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Table 2. 24 Rekapitulasi Tulangan Lentur dan Tulangan susut pada pelat

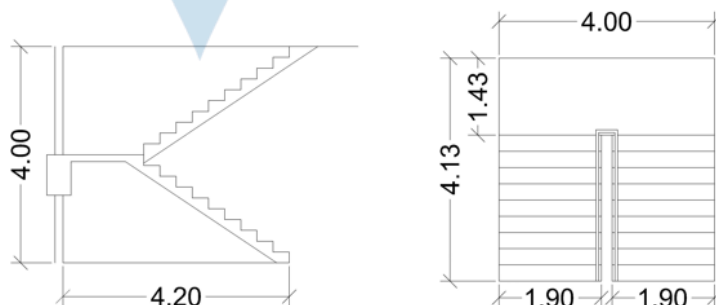
Pelat	Tulangan	Arah	d	Mn	As	Diameter Tulangan
			mm	kN.m	mm	
A1	Lentur Tumpuan	X	105	-2,733	350,000	$\phi 10 - 150$
		Y	105	-2,077	350,000	$\phi 10 - 150$
	Lentur Lapangan	X	105	2,733	350,000	$\phi 10 - 150$
		Y	105	2,077	350,000	$\phi 10 - 150$
	Susut					$\phi 8 - 300$
A2	Lentur Tumpuan	X	105	-2,249	350,000	$\phi 10 - 150$
		Y	105	-1,486	350,000	$\phi 10 - 150$
	Lentur Lapangan	X	105	2,249	350,000	$\phi 10 - 150$
		Y	105	1,486	350,000	$\phi 10 - 150$
	Susut					$\phi 8 - 300$

2.12 Perancangan Tangga

Pada gedung perpustakaan kalimantan timur, direncanakan tangga untuk menghubungkan antar lantai pada bangunan. Berikut merupakan dimensi yang digunakan dalam perancangan tangga pada gedung perpustakaan kalimantan timur:

Tinggi Oprade (O)	: 200
Lebar Antrede (A)	: 300
B2	: 9000
L1	: 3000
hlt	: 4000
Jumlah anak tangga	$= \frac{hlt}{o} = \frac{4000}{200} = 20$
Lebar bordes (Lb)	$= \frac{hlt}{2} = \frac{3000}{2} = 1500$
Lebar tangga (Ltg)	$= \left(\left(\frac{1}{2} \times \frac{hlt}{o} \right) - 1 \right) \times A$ $= \left(\left(\frac{1}{2} \times \frac{4000}{200} \right) - 1 \right) \times 300$ $= 2700$
Sudut kemiringan tangga	$= \tan^{-1} \left(\frac{o}{A} \right)$ $= \tan^{-1} \left(\frac{200}{300} \right)$ $= 33,69^\circ$

Perencanaan struktur tangga dikerjakan sesuai dengan denah perencanaan tangga yang dapat dilihat pada lampiran 27. untuk detail perencanaan tangga dapat dilihat pada Gambar 2.19



Gambar 2. 19 Perancangan Tangga

2.12.1 Perancangan Pembebanan Tangga

Pembebanan pada tangga dilakukan dengan menganalisis beban hidup dan beban mati yang bekerja pada tangga. Nilai beban hidup dihitung menggunakan Tabel 2.17 Beban Hidup Minimum dari SNI 1727:2013. Berat jenis untuk beban mati ditentukan berdasarkan Tabel 2.18 Berat Sendiri Bangunan dari PPIUG 1983.

Perencanaan pembebanan pada struktur tangga melibatkan tiga jenis beban: beban mati pada tangga (beban Q_{tg}) yang tercantum pada Tabel 2.48, beban mati pada bordes (beban Q_{bd}) yang tercantum pada Tabel 2.49, dan beban hidup yang direncanakan berdasarkan SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Untuk tangga dengan fungsi museum, beban hidupnya adalah 4,79 kN/m².

Setelah menghitung beban tangga, analisis gaya rencana dilakukan menggunakan software Etabs 21.0.0.

2.12.2 Rencana Penulangan Tangga

Berikut ini adalah nilai momen (M_u) dan gaya geser (V_u) yang digunakan dalam perencanaan penulangan tangga di Gedung Perpustakaan 5 Lantai Kalimantan Timur:

1) Tumpuan

a) Tulangan Lentur

$$M_u \times = 0,5 \times M_u = 0,5 \times 45,34 = 22,67 \text{ kNm}$$

$$d = \text{tebal pelat} - \left(\text{selimut beton} + \frac{1}{2} \times \text{diameter tulangan} \right)$$

$$= 130 - \left(20 + \frac{1}{2} \times 13 \right)$$

$$= 103,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u \times}{0,9 \times b \times d^2} \\ &= \frac{22,67 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 103,5^2} \\ &= 2,351 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \times \left(1 - \left(-\sqrt{\frac{2xRn}{0,85 \times f_y}}\right)\right) \\ &= \frac{0,85 \times 32}{420} \times \left(1 - \left(-\sqrt{\frac{2 \times 2,351}{0,85 \times 420}}\right)\right) \\ &= 0,00743\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\ &= 0,00743 \times 1000 \times 103,5 \\ &= 769,316 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2.23, nilai As min yang digunakan pada batang ulir dengan f_y sebesar 420 Mpa, sehingga digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{As min} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 103,5 \\ &= 186,3 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As min} &= 0,0014 A_g \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 103,5 \\ &= 144,9 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{As min} = 186,3 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{max}} &= 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times f'c \times \beta}{f_y}\right) \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\ &= 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times 32 \times 0,85}{420}\right) \times \frac{600}{(600 + 420)} \\ &= 0,024\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As max} &= \rho_{\text{max}} \times b \times d \\ &= 0,024 \times 1000 \times 103,5 \\ &= 2513,571429 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat : As min < As perlu < As max

$$186,3 \text{ mm}^2 < 769,316 \text{ mm}^2 <$$

$$2513,571 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan nilai As perlu sebesar 769,316 mm². jarak antar tulangan ditentukan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3 dimana spasi maksimum untuk

tulangan ulir harus kurang dari 3h dan 450. maka jarak tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 3 \times \text{tebal pelat tangga} \\ &= 3 \times 130 \\ &= 390 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} = 390$$

$$\begin{aligned} S_{\text{pakai}} &= \frac{A_s \text{ tulangan}}{A_s \text{ perlu}} \times b \\ &= \frac{\left(\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2\right)}{760,248} \times 1000 \\ &= 172,442 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{terpasang}} = 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ terpasang} &= \frac{1000}{s_{\text{pakai}}} \times \text{luas tulangan} \\ &= \frac{1000}{150} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 884,4333333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat: } A_s \text{ terpasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 884,4333333 \text{ mm}^2 &> 769,316 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, dipakai tulangan D13-250 untuk tulangan lentur pada tumpuan pelat tangga.

b) Tulangan Susut

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - \left(\text{selimut beton} + \frac{1}{2} \times \text{diameter tulangan} \right) \\ &= 130 - \left(20 + \frac{1}{2} \times 10 \right) \\ &= 105 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{0,9 \times b \times d^2} \\ &= \frac{22,67}{0,9 \times 1000 \times 105^2} \\ &= 2,285 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 2.23 nilai A_s min yang digunakan pada batang ulir dengan f_y sebesar 420 Mpa, sehingga digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,002 A_g \\ &= 0,0020 \times 1000 \times 105 \\ &= 210 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi} &= \frac{A_s \text{ tulangan}}{A_s \text{ perlu}} \times b \\ &= \frac{\left(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2\right)}{210} \times 1000 \\ &= 373,810 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi terpasang} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ terpasang} &= \frac{1000}{s \text{ pakai}} \times \text{luas tulangan} \\ &= \frac{1000}{200} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat: } A_s \text{ terpasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 392,5 \text{ mm}^2 &> 210 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, dipakai tulangan D10-200 untuk tulangan susut pada pelat tangga.

2) lapangan

a) Tulangan lentur

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 0,8 \times 45,34 \\ &= 36,272 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - \left(\text{selimut beton} + \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan} \right) \\ &= 130 - \left(20 + \frac{1}{2} \times 13 \right) \\ &= 103,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_{u+}}{0,9 \times b \times d^2} \\ &= \frac{36,272 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 103,5^2} \\ &= 3,762 \end{aligned}$$

$$P_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_y}} \right) \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 32}{420} \times \left(1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times 4,610}{0,85 \times 420}}\right)\right)$$

$$= 0,00940$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d$$

$$= 0,00940 \times 1000 \times 103,5$$

$$= 973,117 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan table 2.23, nilai A_s min yang digunakan pada batang ulir dengan f_y sebesar 420 Mpa, sehingga digunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_s \text{ min} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 103,5$$

$$= 186,3$$

$$A_s \text{ min} = 0,0014 A_g$$

$$= 0,0014 \times 1000 \times 103,5$$

$$= 144,9 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = 186,3$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times f'_c \times \beta}{f_y}\right) \times \frac{600}{(600 + f_y)}$$

$$= 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times 32 \times 0,85}{420}\right) \times \frac{600}{(600 + 420)}$$

$$= 0,0243$$

$$A_s \text{ max} = \rho_{\text{max}} \times b \times d$$

$$= 0,0243 \times 1000 \times 103,5$$

$$= 2513,571 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat : } A_s \text{ min} < A_s \text{ perlu} < A_s \text{ max}$$

$$186,3 \text{ mm}^2 < 973,117 \text{ mm}^2 <$$

$$2513,5714 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan nilai A_s perlu sebesar 973,117 mm². jarak antar tulangan ditentukan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3 dimana spasi maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari 3h dan 450. maka jarak tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 3 \times \text{tebal pelat tangga} \\
 &= 3 \times 130 \\
 &= 390 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} = 390$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{pakai}} &= \frac{A_s \text{ tulangan}}{A_s \text{ perlu}} \times b \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2\right)}{973,117} \times 1000 \\
 &= 136,330 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{terpasang}} = 125 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ terpasang} &= \frac{1000}{s_{\text{pakai}}} \times \text{luas tulangan} \\
 &= \frac{1000}{125} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 1061,32 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat: } A_s \text{ terpasang} &> A_s \text{ perlu} \\
 1061,32 \text{ mm}^2 &> 973,117 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka, dipakai tulangan D13-250 untuk tulangan lentur pada tumpuan pelat tangga.

b) Tulangan Susut

$$\begin{aligned}
 d &= \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + \frac{1}{2} \times \text{diameter tulangan}) \\
 &= 130 - \left(20 + \frac{1}{2} \times 10\right) \\
 &= 105 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu+}{0,9 \times b \times d^2} \\
 &= \frac{36,272}{0,9 \times 1000 \times 105^2} \\
 &= 3,656
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 2.23 nilai A_s min yang digunakan pada batang ulir dengan f_y sebesar 420 Mpa, sehingga digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ min} &= 0,002 A_g \\
 &= 0,0020 \times 1000 \times 105 \\
 &= 210 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka digunakan nilai A_s min sebesar 250 mm². jarak antar tulangan ditentukan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3 dimana maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari 3h dan 450. maka jarak tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$S_{max} = 3 \times \text{tebal pelat tangga}$$

$$= 3 \times 130$$

$$= 390 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 390$$

$$S_{pakai} = \frac{A_s \text{ tulangan}}{A_s \text{ perlu}} \times b$$

$$= \frac{(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2)}{973,117} \times 1000$$

$$= 373,810 \text{ mm}$$

$$S_{terpasang} = 200 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ terpasang} = \frac{1000}{s_{pakai}} \times \text{luas tulangan}$$

$$= \frac{1000}{200} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2$$

$$= 392,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat: } A_s \text{ terpasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$392,5 \text{ mm}^2 > 210 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan susut dengan D10-200 setelah dilakukan perhitungan dan analisis didapat hasil perencanaan yang dirangkum dalam rekapitulasi perencanaan penulangan tangga yang dapat dilihat pada Tabel 2.25 Rekapitulasi Penulangan Tangga.

Table 2. 25 Rekapitulasi Penulangan Tangga

Type	Tulangan	d	Mu x	ppakai	As perlu	As terpasang	Dipasang tulangan
		mm	kNm		mm	mm	
Tumpuan	Lentur	13	22,67	0,00743	769,316	884,433	D13 - 250
	Susut	10	22,67	0,00200	210,000	392,500	D10 - 200
Lapangan	Lentur	13	36,272	0,00940	973,117	1061,320	D13 - 125
	Susut	10	36,272	0,00200	210,000	392,500	D10 - 200

2.12.3 Perencanaan Fondasi Tangga

1) Pembebanan Fondasi Tangga

Pembebanan tangga dilakukan dengan menganalisis beban mati dan beban hidup yang bekerja pada tangga. Beban hidup ditentukan berdasarkan Tabel 2.17 Beban Hidup Minimum sesuai dengan SNI 1727:2013, Perencanaan pembebanan fondasi tangga dapat dilihat pada Tabel 2.26.

Table 2. 26 Rencana Pembebanan Pada Fondasi Tangga

Beban mati (DL)		25,13	kN/m ²
Beban hidup (LL)		9,81	kN/m ²
Beban dinding	0,15 x 1,5 x 24	5,4	kN/m ²
Beban Qtg		40,34	kN/m ²

2) Analisis Daya Dukung Ijin Tanah

Pada perencanaan fondasi tangga, diasumsikan ketebalan pondasi 0,15 meter dengan dimensi 1,5 meter dan kedalaman fondasi 1,5 meter. Nilai γ_{tanah} dianalisis dengan menggunakan nilai berat jenis tanah kering (γ_d) dan nilai w diambil dari kadar air yang didapatkan melalui hasil pengujian tanah. Nilai tegangan tanah (σ_{tanah}) adalah nilai berat jenis (G) yang didapatkan melalui pengujian tanah. Nilai M_u yang bekerja pada fondasi diambil berdasarkan momen yang bekerja pada pelat tangga, sehingga pada perencanaan fondasi tangga pada Gedung Perpustakaan Kalimantan 2024 digunakan nilai γ_d sebesar 1,48 gr/cm³, σ_{tanah} 268 kN/m², dan nilai M_u sebesar 45,85 kNm. Berikut merupakan perhitungan daya dukung ijin tanah pada fondasi tangga:

$$\begin{aligned}\gamma_{tanah} &= \frac{\gamma_d \times (1+w)}{100\%} \\ &= \frac{1,48 \times (1+0,3229)}{100\%} \\ &= 19,579 \text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e &= \frac{0,5 \times M_u}{Q_{tg}} \\ &= 0,562 \approx 0,6 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\sigma_{netto} = \sigma_{tanah} - ((d - h) \times \gamma_{tanah}) - (h - \gamma_{beton})$$

$$\sigma_{max} = \frac{Q_{tg}}{B} + \frac{6 \times Q_{tg} \times e}{B^2}$$

$$= 91,437 \text{ kN/m}^3$$

Syarat:

$$J \sigma_{\max} \leq j \sigma_{\text{netto}}$$

$$91,437 \leq 265,418$$

$$\sigma_{\min} = \frac{Q_{tg}}{B} - \frac{6 \times Q_{tg} \times e}{B^2}$$

$$= -37,651 \text{ kN/m}^3$$

Jika nilai $\sigma_{\max}$ lebih kecil daripada nilai σ_{netto} , maka daya dukung tanah telah memenuhi persyaratan. Setelah analisis daya dukung tanah, dilakukan analisis tegangan terfaktor yang bekerja pada fondasi. Pada Tabel dibawah ini ditunjukkan analisis tegangan terfaktor yang bekerja pada fondasi.

Table 2. 27 Tabel Analisis tegangan terfaktor yang bekerja pada pondasi

Beban mati (DL)	1,2 x 23,13	30,156	kN/m
Beban hidup (LL)	1,6 x 9,81	15,696	kN/m
Beban dinding	1,2 x 5,40	6,48	kN/m
Beban Q_{tg}		52,332	kN/m

$$\sigma_{\max} = \frac{Q_{tg}}{B} + \frac{6 \times Q_{tg} \times e}{B^2}$$

$$= 118,619 \text{ kN/m}^3$$

Syarat:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{netto}}$$

$$118,619 \leq 265,418$$

$$\sigma_{\min} = \frac{Q_{tg}}{B} - \frac{6 \times Q_{tg} \times e}{B^2}$$

$$= -48,843 \text{ kN/m}^3$$

3) Rencana Penulangan Fondasi Tangga

$$M_u = \frac{1}{2} \times \left(\frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \right) + \left(\frac{B}{2} + e - \frac{1}{2} \times b_{tg} \right)$$

$$= 28,357 \text{ kNm}$$

$$V_u = \left(\frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \right) + \left(\frac{B}{2} + e - \frac{1}{2} \times b_{tg} \right)^2$$

$$= 56,715 \text{ kN}$$

a. Tulangan Lentur:

$$d = \text{tebal pelat} - \left(\text{selimut beton} + \frac{1}{2} \times \text{diameter tulangan} \right)$$

$$= 103,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,9 \times b \times d^2}$$

$$= 2,94133\text{E-}06$$

$$= 2,94$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_y}} \right) \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times 2,881}{0,85 \times 420}} \right) \right)$$

$$= 0,00831$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d_s$$

$$= 860,230 \text{ mm}^2$$

Digunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_s \text{ min} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$$

$$= 186,3 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = 0,0014 A_g$$

$$= 144,9 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times f'_c \times \beta}{f_y} \right) \times \frac{600}{(600 + f_y)}$$

$$= 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times 25 \times 0,836}{420} \right) \times \frac{600}{(600 + 420)}$$

$$= 0,024$$

$$A_s \text{ max} = \rho_{\text{max}} \times b \times d$$

$$= 2471,326531 \text{ mm}^2$$

Syarat: $A_s \text{ min}$	<	$A_s \text{ perlu}$	<	$A_s \text{ max}$
186,33	<	860,230	<	2471,32653

Maka digunakan nilai A_s perlu sebesar 672,055 mm². Jarak antar tulangan ditentukan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3 dimana spasi maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari 3h dan 450. Maka jarak tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$S_{max} = 3 \times \text{tebal Fondasi Tangga}$$

$$= 390 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = \frac{A_s \text{ tulangan}}{A_s \text{ perlu}} \times b$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2\right)}{601,028} \times 1000$$

$$= 154,220 \text{ mm}$$

$$S_{terpasang} = 150 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ terpasang} = \frac{1000}{S_{pakai}} \times \text{Luas tulangan}$$

$$= 884,433 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat; } A_s \text{ terpasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$884,433 > 860,230$$

Maka, dipakai tulangan D13-150 untuk tulangan lentur pada fondasi tangga.

b. Tulangan Susut

$$d = \text{tebal pelat} - \left(\text{selimut beton} + \frac{1}{2} \times \text{diameter tulangan} \right)$$

$$= 105 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,9 \times b \times d^2}$$

$$= 2,85789\text{E-}06$$

$$= 2,86$$

$$\begin{aligned}
 D_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_y}} \right) \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times 2,86}{0,85 \times 420}} \right) \right) \\
 &= 0,00820
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d_s \\
 &= 860,742 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ min} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\
 &= 189 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ min} &= 0,0014 A_g \\
 &= 147 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ min} = 189 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times f'_c \times \beta}{f_y} \right) \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\
 &= 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{420} \right) \times \frac{600}{(600 + 420)} \\
 &= 0,024
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ max} &= \rho_{\text{max}} \times b \times d \\
 &= 2550 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccccc}
 \text{Syarat: } A_s \text{ min} & < & A_s \text{ perlu} & < & A_s \text{ max} \\
 189 & < & 860,742 & < & 2550
 \end{array}$$

Maka digunakan nilai A_s perlu sebesar 672,454 mm². Jarak antar tulangan ditentukan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3 dimana spasi maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari 3h dan 450.

Maka jarak tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &= 3 \times \text{tebal fondasi tangga} \\
 &= 390 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{pakai}} &= \frac{A_s \text{ tulangan}}{A_s \text{ perlu}} \times b \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \right)}{672,454} \times 1000 \\
 &= 91,200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{terpasang}} = 90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{As terpasang} &= \frac{1000}{\rho_{\text{pakai}}} \times \text{Luas tulangan} \\ &= 872,222 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat: As terpasang} &> \text{As perlu} \\ 872,222 &> 860,742 \end{aligned}$$

Maka, dipakai tulangan D13 – 90 untuk tulangan lentur pada fondasi tangga.

Table 2. 28 Tabel Rekapitulasi Penulangan Fondasi Tangga

Tulangan Fondasi Tangga	d	Mu x	ρ_{pakai}	As perlu	As terpasang	Dipasang tulangan
	mm	kNm		mm	mm	
Lentur	13	28,357	0,00831	860,230	884,433	Ø13 - 150
Susut	10	28,357	0,00820	860,742	872,222	Ø10 - 100