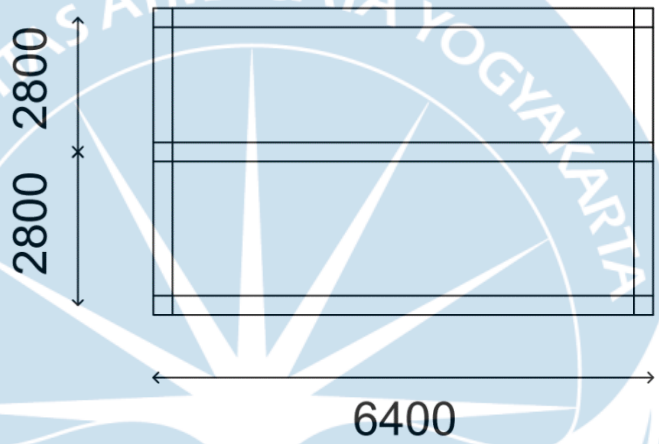
BAB 2

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Preliminary Design

Gedung *Co-Working Lab*. terbagi menjadi 2 bangunan. Berikut adalah preliminary design untuk bangunan tersebut. Diketahui:



Gambar 2. 1 Ukuran Plat Lantai Terbesar

Terbesar

Ly = 6400 mm

Lx = 2800 mm

1. Menentukan Tebal Plat pada Lantai

a. Identifikasi plat

$\frac{Ly}{Lx} = \frac{6400}{2800} = 2{,}286 > 2$

Sehingga, menggunakan plat satu arah

b. Menentukan tebal plat dua arah

1) Kondisi tumpuan satu ujung

$h = \frac{Lx}{24} = \frac{2800}{24}$ = 116,67 mm = 130 mm

2) Kondisi tumpuan dua ujung menerus

$h = \frac{Lx}{24} = \frac{2800}{28}$ = 100 mm = 130 mm

2. Menentukan Dimensi Kolom

Diketahui:

Dimensi kolom = 550 × 550 (mm)

a. Cek dimensi penampang kolom SRPMK

1) B ≤ H

550 ≤ 550 (OK)

2) Perbandingan B/H > 0,4

$\frac{550}{550} > 0{,}4$

1 > 0,4 (OK)

3. Menentukan Dimensi Balok

a. Menentukan tinggi minimum balok

1) Kondisi perlekatan menerus satu sisi

$h = \frac{Ly}{15} = \frac{6400}{15}$ = 426,6 mm = 450 mm

2) Kondisi perlekatan menerus dua sisi

$h = \frac{Ly}{15} = \frac{6400}{15}$ = 426,6 mm = 450 mm

b. Menentukan lebar minimum balok

1. Kondisi perlekatan menerus satu sisi

$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 450$ = 300 mm

2. Kondisi perlekatan menerus dua sisi

$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3}\ 450$ = 300 mm

Tabel 2. 1 Rekap Dimensi Balok

Rekap	B (mm)	H (mm)

Satu sisi	300	450
Dua Sisi	300	450

Balok induk yang digunakan adalah 200 × 400 (mm)

Balok anak yang digunakan adalah 190 × 380 (mm)

Selimut beton = 40 mm

Diameter sengkang = 10 mm

Diameter longitudinal = 16 mm

c. Cek syarat dimensi penampang balok SRPMK
   Ln > 4d
   d = 450 − 40 − 10 − 16/2 = 392 mm
   Ln = 6400 − 550 = 5850 mm
   6400 > 4 × 392
   6400 > 1568 (OK)

   Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa preliminary design Gedung *Co-Working Lab*, yaitu sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Preliminary Design

Pelat	B (mm)
Kolom	550 × 550 (mm)
Balok Induk	200 × 400 (mm)
Balok Anak	190 × 380 (mm)

2.2 Interpretasi Data Tanah dan Pemeliharaan Kelas Situs

Klasifikasi Situs

Tabel 2. 3 Hitung N dan Su – Rerata

Kedalaman	N-SPT	Tebal (d)	Ni = d/N-SPT	Σ Ni	N rerata
0,00 s/d 2,00	6	2	0,3333	1,8413	16,2930
2,00 s/d 4,00	7	2	0,2857		
4,00 s/d 6,00	17	2	0,1176		
6,00 s/d 8,00	18	2	0,1111		
8,00 s/d 10,00	14	2	0,1429		
10,00 s/d 12,00	6	2	0,3333		
12,00 s/d 14,00	14	2	0,1429		
14,00 s/d 16,00	16	2	0,125		
16,00 s/d 18,00	60	2	0,0333		
18,00 s/d 20,00	60	2	0,0333		
20,00 s/d 22,00	52	2	0,0385		
22,00 s/d 24,00	53	2	0,0377		
24,00 s/d 26,00	55	2	0,0364		
26,00 s/d 28,00	56	2	0,0357		
28,00 s/d 30,00	58	2	0,0345		

2.3 Penentuan Sistem Struktur

A. Penentuan Kategori Resiko

Tabel 2. 4 Kategori Resiko

Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 3, kategori resiko pada bangunan *Gedung Co-Working Lab* yaitu termasuk pada kategori resiko II. Hal ini dikarenakan bangunan kami merupakan fasilitas untuk gedung perkantoran.

B. Penentuan Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 2. 5 Faktor Keutamaan Gempa

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

keutamaan gempa pada bangunan tersebut yaitu 1.

C. Penentuan Klasifikasi Situs

Tabel 2. 6 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 sampai100*
SE (tanah lunak)	< 175	<15	*< 50*
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan H > 3 m)		

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah pada bangunan Gedung *Co-Working Lab* didapatkan bahwa klasifikasi situsnya termasuk ke dalam kelas situs SD (Tanah Sedang).

D. Penentuan Parameter Spektral Respons

Melalui web Desain spektra Indonesia (Pu.go.id), didapatkan nilai sebagai berikut:

a. TO = 0,149 s
b. Ts = 0,745 s
c. Sds = 0,858 g
d. $Sd1$ = 0,639 g
e. Ss = 1,2877
f. $S1$ = 0,5471

E. Hitung Periode Fundamental Gedung (T)

Tabel 2. 7 Nilai Parameter Peridoe Pendekatan Ct 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

Bedasarkan SNI 1726:2019 tabel 18, tipe struktur pada bangunan Gedung *Co-Working Lab* yaitu rangka beton pemikul beton dengan nilai Ct = 0,0466 dan x = 0,9.

F. Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS)

Tabel 2. 8 Kategori Desain Seismik

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

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 8, dengan SDS = 0, 0,858 g dan termasuk kategori resiko III maka kategori desain seismik oada bangunan Gedung *Co-Working Lab* adalah D.

G. Penentuan Koefisien Modifikasi Respons (R)

Tabel 2. 9 Koefisien Modifikasi Respons

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R[a]	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0[b]	Faktor pembesaran defleksi, C_d[c]	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[d]				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D[e]	E[e]	F[f]
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10[k]	TI[k]	TI[k]
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI[l]	TI[l]	TI[l]
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus[m]	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan[n]	3½	3[o]	3½	10	10	10	10	10

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 12, sistem pemikul gaya seismik bangunan *Co-Working Lab* adalah rangka baja pemikul momen khusus, sehingga nilai R = 8,
Ώo = 3, dan Cd = 5,5.

2.4 Perancangan Pelat Lantai

1. Rekapitulasi Tipe Pelat Lantai dan Pelat Atap pada Gedung *Co-Working Lab*

Tabel 2. 10 Rekapitulasi Tipe Pelat Lantai dan Pelat Atap

Tipe Plat	Lx	Ly	Ly/Lx	Jenis Plat	Tebal Plat Minimum	Tebal Plat
	(mm)	(mm)			(mm)	(mm)
A	2700	6000	2.22	Plat 1 Arah	112.5	130
C	2800	6400	2.28	Plat 1 Arah	116.67	130
D	2400	6000	2.5	Plat 1 Arah	100	130
E	2500	5400	2.16	Plat 1 Arah	104.17	130
F	2600	6100	2.35	Plat 1 Arah	108.33	130
6C	775	1775	2.29	Plat 1 Arah	77.5	130
1A	2700	3200	1.19	Plat 2 Arah	90	130
1B	2700	3200	1.19	Plat 2 Arah	90	130
1C	2700	3200	1.19	Plat 2 Arah	90	130
1D	2700	3200	1.19	Plat 2 Arah	90	130
2A	3000	3000	1	Plat 2 Arah	90	130
2C	3000	3000	1	Plat 2 Arah	90	130
2D	3000	3000	1	Plat 2 Arah	90	130
3B	2800	3400	1.22	Plat 2 Arah	90	130

Tipe Plat	Lx	Ly	Ly/Lx	Jenis Plat	Tebal Plat Minimum	Tebal Plat
	(mm)	(mm)			(mm)	(mm)
4B	3200	3400	1.07	Plat 2 Arah	90	130
4D	3200	3400	1.07	Plat 2 Arah	90	130
5A	2700	2800	1.04	Plat 2 Arah	90	130
5C	2700	2800	1.04	Plat 2 Arah	90	130
6A	2600	3200	1.23	Plat 2 Arah	90	130
7A	2600	2800	1.08	Plat 2 Arah	90	130
8A	2400	3000	1.25	Plat 2 Arah	90	130
8B	2400	3000	1.25	Plat 2 Arah	90	130
K1A	1775	1775	1	Plat 2 Arah	90	130
K2C	1775	3000	1.69	Plat 2 Arah	90	130
K3C	1775	3225	1.82	Plat 2 Arah	90	130
K4C	1775	2725	1.54	Plat 2 Arah	90	130
K5C	1775	2775	1.56	Plat 2 Arah	90	130

2. Pembebanan pada fungsi pelat

Tabel 2. 11 Perhitungan Beban

Beban Mati (DL)	mm	m	Berat Jenis		kN/m^2
Berat Sendiri Pelat	130	0.13	24	=	3.12

Beban Mati (DL)	mm	m	Berat Jenis		kN/m^2
Spesi	30	0.03	21	=	0.63
Keramik/Tegel	20	0.02	21	=	0.42
Plafon	0	0	0.18	=	0.18
Total DL				=	4.35
Beban Hidup (LL)					
Co-Working				=	4.79
Q *Ultimate*				=	8.42

2.4.1 Plat 1 arah

Bentang Plat D (sebagai contoh perhitungan)

Diketahui:

Lx : 2400 mm

Ly : 6000 mm

Ln : 2205 mm

Beban Hidup : 4.79 kN/m^2

F'c : 30 MPa

Fy : 280 MPa

Tebal Pelat : 130 mm

D Tulangan Utama : 10 mm

Tebal Selimut Beton : 20 mm

Menentukan tebal plat minimum

$$\frac{Lx}{24} = \frac{2700}{24} = 112.5\ mm \rightarrow 130\ mm$$

Analisis Struktur dan Pembebanan

$$Mu\ (-) = -\frac{1}{10}\ x\ wu\ x\ ln^2$$

$$Mu\ (-) = -\frac{1}{10}\ x\ 12{,}884\ x\ 2505^2$$

$$Mu\ (-) = -6264233{,}01\ Nmm$$

$$Mu\ (+) = \frac{1}{11}\ x\ wu\ x\ ln^2$$

$$Mu\ (+) = \frac{1}{11}\ x\ 12{,}884\ x\ 2505^2$$

$$Mu\ (+) = 5694757.282\ Nmm$$

$$Vu = 1.15\ x\ wu\ x\ \frac{ln}{2}$$

$$Vu = 1.15\ x\ 12{,}884\ x\ \frac{2505}{2}$$

$$Vu = 16335{,}3015\ Nmm$$

Menghitung Vc

$$d = Tebal\ Plat - Selimut\ Beton - \frac{D.pokok}{2}$$

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

$$d = 105\ mm$$

$$\emptyset Vc = 0{,}75\ x\ 0.17\ x\ \boldsymbol{\lambda\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ b\ x\ d}$$

$$\emptyset Vc = 0{,}75\ x\ 0.17\ x\ \mathbf{1\ x\ \sqrt{30}\ x\ 1000\ x\ 105}$$

$$\emptyset Vc = 73326{,}36\ N$$

Cek Vu < $\emptyset Vc$, (Aman)

Koefisien Ketahanan Lentur

$$tumpuan = \frac{Mu\ (-)}{0{,}9\ x\ b\ x\ d^2}$$

$$tumpuan = \frac{6264233{,}01}{0{,}9\ x\ 1000\ x\ 105^2}$$

$$tumpuan = 0{,}6314$$

$$lapangan = \frac{Mu\ (+)}{0{,}9\ x\ b\ x\ d^2}$$

$$lapangan = \frac{5694757.282}{0{,}9\ x\ 1000\ x\ 105^2}$$

$$lapangan = 0{,}574$$

Menghitung Kebutuhan Tulangan Tumpuan

Pokok

$$\rho = \frac{0{,}85\ x\ f'c}{fy}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0.85\ x\ f'c}}\right)$$

$$\rho = \frac{0{,}85\ x\ 30}{280}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0{,}6314}{0.85\ x\ 30}}\right)$$

$$\rho = 0{,}00229$$

$$\rho\ maks = 0{,}36\ x \frac{f'c\ x\ \beta 1}{fy}$$

$$\rho\ maks = 0{,}36\ x \frac{30\ x\ 0{,}836}{280}$$

$$\rho\ maks = 0{,}0323$$

$$As.req = \rho\ x\ b\ x\ d$$

$$As.req = 0{,}00229\ x\ 1000\ x\ 105$$

$$As.req = 240{,}45\ mm^2$$

$$As.min = 0{,}002\ x\ Ag$$

$$As.min = 0{,}002\ x\ 1000\ x\ 130$$

$$As.min = 260\ mm^2$$

$$s = \frac{1}{4}\ x \frac{\pi\ x\ D^2\ x\ b}{As}$$

$$s = \frac{1}{4} x \frac{\pi x 10^2 x 1000}{260}$$

$$s = 302{,}08\, mm$$

Digunakan D10 – 250

Susut

$$As.min = 0{,}002 x Ag$$

$$As.min = 0{,}002 x 1000 x 130$$

$$As.min = 260\, mm^2$$

$$s = \frac{1}{4} x \frac{\pi x D^2 x b}{As}$$

$$s = \frac{1}{4} x \frac{\pi x 10^2 x 1000}{260}$$

$$s = 302.08\, mm$$

Digunakan D10 – 250

Menghitung Kebutuhan Tulangan Lapangan

$$\rho = \frac{0{,}85 x f'c}{fy}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0.85 x f'c}}\right)$$

$$\rho = \frac{0{,}85 x 30}{280}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 0.574}{0.85 x 30}}\right)$$

$$\rho = 0{,}00208$$

$$\rho\ maks = 0{,}36\ x \frac{f'c\ x\ \beta 1}{fy}$$

$$\rho\ maks = 0{,}36\ x \frac{30\ x\ 0{,}836}{280}$$

$$\rho\ maks = 0{,}0323$$

$$As.req\ = \rho\ x\ b\ x\ d$$

$$As.req\ = 0{,}00208\ x\ 1000\ x\ 105$$

$$As.req\ = 218{,}4\ mm^2$$

$$As.min\ = 0{,}002\ x\ Ag$$

$$As.min\ = 0{,}002\ x\ 1000\ x\ 130$$

$$As.min\ = 260\ mm^2$$

$$s\ = \frac{1}{4}\ x \frac{\pi\ x\ D^2\ x\ b}{As}$$

$$s\ = \frac{1}{4}\ x \frac{\pi\ x\ 10^2\ x\ 1000}{260}$$

$$s\ = 302{,}08\ mm$$

Digunakan D10 – 250

2.4.2 Plat 2 arah

Bentang Plat 1A (sebagai contoh perhitungan)

Diketahui:

Lx	: 2700 mm
Ly	: 3200 mm
Lnx	: 2505 mm
Lny	: 3005 mm
Beban Hidup	: 4.79 kN/m^2
F’c	: 30 MPa
Fy	: 280 MPa
Tebal Plat	: 130 mm
D Tulangan Utama	: 10 mm
Tebal Selimut Beton	: 20 mm
Bw	: 190 mm
Hf	: 130 mm
Hw	: 250 mm
Ht	: 380 mm

Menentukan tebal plat minimum

$be_1 = bw + 2\ hw$

$be_1 = 190 + 2\ x\ 250$

$be_1 = 690\ mm$

$be_2 = bw + 8\ hf$

$be_2 = 190 + 8\ x\ 130$

$be_2 = 1230\ mm$

$y_1 = \frac{hw}{2}$

$y_1 = \frac{250}{2}$

$y_1 = 125\ mm$

$y_2 = \frac{hf}{2} + \text{hw}$

$y_2 = \frac{130}{2} + 250$

$y_2 = 315\ mm$

$A_1 = hw\ x\ bw$

$A_1 = 190\ x\ 250$

$A_1 = 47500\ mm^2$

$$A_2 = be\ x\ hf$$

$$A_2 = 690\ x\ 130$$

$$A_2 = 89700\ mm^2$$

$$y = \frac{A1\ x\ y1 + A2\ x\ y2}{A1 + A2}$$

$$y = \frac{47500\ x\ 125 + 89700\ x\ 315}{125 + 315}$$

$$y = 249{,}2\ mm$$

$$I_b = \frac{1}{12}\ bw\ hw^3 + A1\ (y - y1)^2 + \frac{1}{12}\ be\ hf^3 + A2\ (y2 - y)^2$$

$$I_b = \frac{1}{12}\ X\ 190\ X\ 250^3 + 47500\ (249{,}2 - 125)^2 + \frac{1}{12}\ 690\ X\ 130^3 + 89700\ (315 - 249{,}2)^2$$

$$I_b = 1494809885{,}81\ mm^4$$

$$IP_1 = \frac{1}{12}\ Ly\ hf^3$$

$$IP_1 = \frac{1}{12}\ X\ 3200\ X\ 130^3$$

$$IP_1 = 585866666{,}7\ mm^4$$

$$IP_2 = \frac{1}{12}\ Lx\ hf^3$$

$$IP_2 = \frac{1}{12}\ X\ 2700\ X\ 130^3$$

$$IP_2 = 494325000\ mm^4$$

$$a = \frac{Ib}{Ip1}$$

$$a = \frac{1494809885{,}81}{585866666{,}7}$$

$$a = 2{,}552$$

$$a = \frac{Ib}{Ip2}$$

$$a = \frac{1494809885{,}81}{494325000}$$

$$a = 3{,}024$$

$$a_{fm} = \frac{a + a}{2}$$

$$a_{fm} = \frac{2{,}552 + 3{,}024}{2}$$

$$a_{fm} = 2{,}788 > 2$$

$$h_{min} = \frac{\ln\ (0{,}8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9b}$$

$$h_{min} = \frac{3005\ (0{,}8 + \frac{280}{1400})}{36 + 9\ x\ 1{,}19}$$

$$h_{min} = 64{,}21\ mm$$

h_{min} < 90 tidak diizinkan, maka h_{min} = 90 mm

Menghitung Momen Terfaktor

$$M_{tx} = wu\ x \left(\frac{Lx}{1000}\right)^2 x \frac{1}{16}$$

$$M_{tx} = 12{,}884\ x \left(\frac{2700}{1000}\right)^2 x \frac{1}{16}$$

$$M_{tx} = 5{,}87\ kNm$$

$$M_{lx} = wu\ x \left(\frac{Lx}{1000}\right)^2 x \frac{1}{30}$$

$$M_{lx} = 12{,}884\ x \left(\frac{2700}{1000}\right)^2 x \frac{1}{30}$$

$$M_{lx} = 3{,}13\ kNm$$

$$M_{ty} = wu\ x \left(\frac{Ly}{1000}\right)^2 x \frac{1}{35}$$

$$M_{ty} = 12{,}884\ x \left(\frac{3200}{1000}\right)^2 x \frac{1}{35}$$

$$M_{ty} = 3{,}77\ kNm$$

$$M_{ly} = wu\ x \left(\frac{Ly}{1000}\right)^2 x \frac{1}{60}$$

$$M_{ly} = 12{,}884\ x\left(\frac{3200}{1000}\right)^2 x\frac{1}{60}$$

$$M_{ly} = 2{,}20\ kNm$$

Menghitung Gaya Geser

$$V_u\ =\ 1.15\ x\ wu\ x\frac{lny}{2}$$

$$V_u\ =\ 1.15\ x\ 12{,}884\ x\frac{3005}{2}$$

$$V_u\ = 22261{,}942\ Nmm$$

$$d_x\ =\ Tebal\ Plat - Selimut\ Beton - \frac{D.pokok}{2}$$

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

$$d_x\ =\ 105\ mm$$

$$d_y\ =\ Tebal\ Plat - Selimut\ Beton - D.pokok - \frac{D.pokok}{2}$$

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

$$d_y\ =\ 95\ mm$$

$$\emptyset V_c\ =\ 0{,}75\ x\ 0.17\ x\ \lambda\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ bw\ x\ dx$$

$$\emptyset V_c = 0{,}75\ x\ 0.17\ x\ 1\ x\ \sqrt{30}\ x\ 1000\ x\ 105$$

$\emptyset V_c = 73326{,}36\ N$

Cek $V_u < \emptyset V_c$, AMAN

Menghitung koefisien tahanan lentur

$$K_{tx} = \frac{M_u\ (-)}{0{,}9\ x\ b\ x\ {d_x}^2}$$

$$K_{tx} = \frac{5{,}87\ x\ 10^6}{0{,}9\ x\ 1000\ x\ 105^2}$$

$$K_{tx} = 0{,}6$$

$$K_{lx} = \frac{M_u\ (+)}{0{,}9\ x\ b\ x\ {d_x}^2}$$

$$K_{lx} = \frac{3{,}13\ x\ 10^6}{0{,}9\ x\ 1000\ x\ 105^2}$$

$$K_{lx} = 0{,}32$$

$$K_{ty} = \frac{M_u\ (-)}{0{,}9\ x\ b\ x\ {d_y}^2}$$

$$K_{ty} = \frac{3{,}77\ x\ 10^6}{0{,}9\ x\ 1000\ x\ 95^2}$$

$$K_{ty} = 0{,}47$$

$$K_{ly} = \frac{M_u\ (+)}{0{,}9\ x\ b\ x\ {d_y}^2}$$

$$K_{ly} = \frac{2{,}2\ x\ 10^6}{0{,}9\ x\ 1000\ x\ 95^2}$$

$$K_{ly} = 0{,}28$$

Menghitung Rasio Penulangan

$$\rho_{tx} = \frac{0{,}85\ x\ f'c}{f_y}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0.85\ x\ f'c}}\right)$$

$$\rho_{tx} = \frac{0{,}85\ x\ 30}{280}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0{,}6}{0.85\ x\ 30}}\right.$$

$$\rho_{tx} = 0{,}00217$$

$$\rho_{lx} = \frac{0{,}85\ x\ f'c}{f_y}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0.85\ x\ f'c}}\right)$$

$$\rho_{lx} = \frac{0{,}85\ x\ 30}{280}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0{,}32}{0.85\ x\ 30}}\right.$$

$$\rho_{lx} = 0{,}00116$$

$$\rho_{ty} = \frac{0{,}85\ x\ f'c}{f_y}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0.85\ x\ f'c}}\right)$$

$$\rho_{ty} = \frac{0{,}85\ x\ 30}{280}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0{,}47}{0.85\ x\ 30}}\right.$$

$\rho_{ty} = 0{,}0017$

$$\rho_{ly} = \frac{0{,}85\ x\ f'c}{f_y}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0.85\ x\ f'c}}\right)$$

$$\rho_{ly} = \frac{0{,}85\ x\ 30}{280}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 0{,}28}{0.85\ x\ 30}}\right.$$

$\rho_{ly} = 0{,}00101$

$$\rho_{maks} = 0{,}36\ x \frac{f'c\ x\ \beta_1}{f_y}$$

$$\rho_{maks} = 0{,}36\ x \frac{30\ x\ 0{,}836}{280}$$

$\rho_{maks} = 0{,}0323$

$\rho < \rho_{maks} \rightarrow diizinkan$

Menghitung Kebutuhan Luas Tulangan Tarik

$As.tx = \rho_{tx}\ x\ b\ x\ d_x$

$As.tx = 0{,}00217\ x\ 1000\ x\ 105$

$As.tx = 227{,}85\ mm^2$

$As.lx = \rho_{lx}\ x\ b\ x\ d_x$

$As.lx = 0{,}00116\ x\ 1000\ x\ 105$

$As.lx = 121{,}8\ mm^2$

$As.ty = \rho_{ty}\ x\ b\ x\ d_y$

$As.ty = 0{,}0017\ x\ 1000\ x\ 95$

$As.ty = 161{,}5\ mm^2$

$As.ly = \rho_{ly}\ x\ b\ x\ d_y$

$As.ly = 0{,}00101\ x\ 1000\ x\ 95$

$As.ly = 95{,}95\ mm^2$

$As.min = 0{,}002\ x\ Ag$

$As.min = 0{,}002\ x\ 1000\ x\ 130$

$As.min = 260\ mm^2$

$$S_{tx} = \frac{1}{4}\ x \frac{\pi\ x\ D^2\ x\ b}{A_s\ t_x}$$

$$S_{tx} = \frac{1}{4}\ x \frac{\pi\ x\ 10^2\ x\ 1000}{260}$$

$S_{tx} = 302.076\ mm$

Digunakan D10 –200

$$S_{lx} = \frac{1}{4} x \frac{\pi x D^2 x b}{As\ lx}$$

$$S_{lx} = \frac{1}{4} x \frac{\pi x 10^2 x 1000}{260}$$

$$S_{lx} = 302{,}076\ mm$$

Digunakan D10 – 200

$$S_{ty} = \frac{1}{4} x \frac{\pi x D^2 x b}{As\ ty}$$

$$S_{ty} = \frac{1}{4} x \frac{\pi x 10^2 x 1000}{260}$$

$$S_{ty} = 302{,}076\ mm$$

Digunakan D10 – 200

$$S_{ly} = \frac{1}{4} x \frac{\pi x D^2 x b}{As\ ly}$$

$$S_{ly} = \frac{1}{4} x \frac{\pi x 10^2 x 1000}{260}$$

$$S_{ly} = 302{,}076\ mm$$

Digunakan D10 – 200

Menghitung tulangan susut

$A_s.min = 0{,}002\ x\ Ag$

$A_s.min = 0{,}002\ x\ 1000\ x\ 130$

$A_s.min = 260\ mm^2$

$s = \frac{1}{4}\ x \frac{\pi\ x\ D^2\ x\ b}{As}$

$s = \frac{1}{4}\ x \frac{\pi\ x\ 10^2\ x\ 1000}{260}$

$s = 302{,}08\ mm$

Digunakan P10 – 300

2.5 Pemodelan Portal 3D

Data-data:

Mutu beton F'c = 30 MPa

Fy tulangan = 420 Mpa ; Fu = 560 MPa

Fy sengkang = 280 Mpa ; Fu = 430 MPa

Dimensi :

Balok Induk 1 = 350 × 500 mm

Balok Induk 2 = 400 × 580 mm

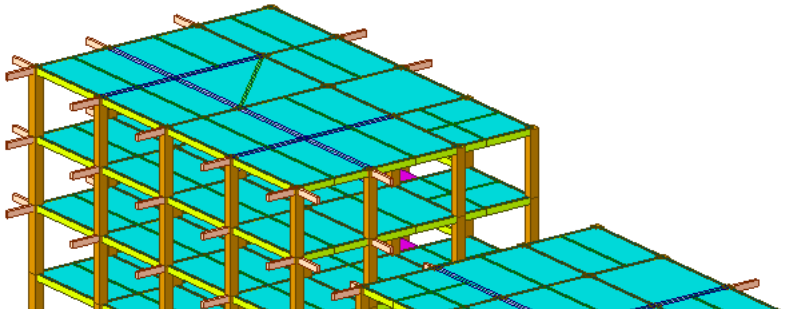
Balok Anak = 200 × 380 mm

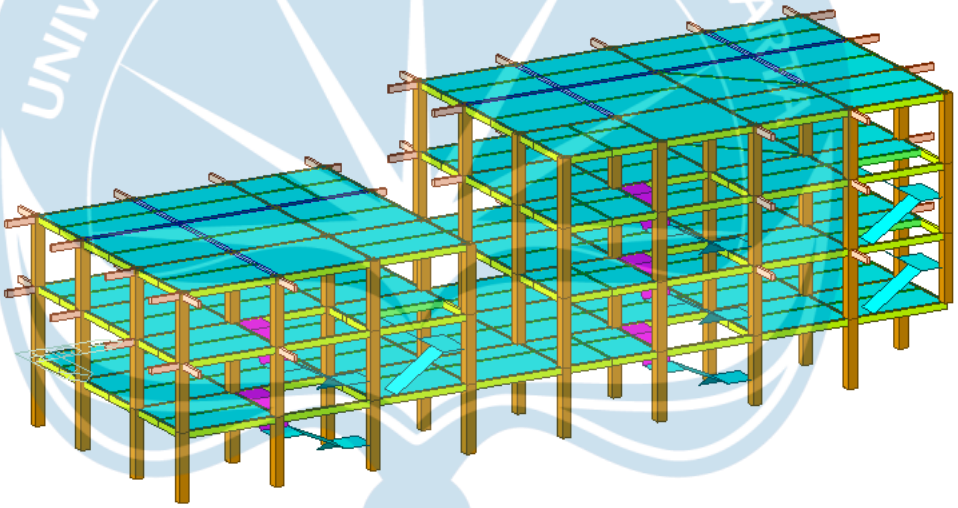
Balok Kantilver = 200 x 300

Balok Lift = 200 x 250

Kolom = 550 × 550 mm

Plat lantai = 130 mm





Gambar 2. 3 pemodelan 3D Gedung Co-Working Lab (tampak sampig tangga)

2.6 Perancangan Struktur Atap

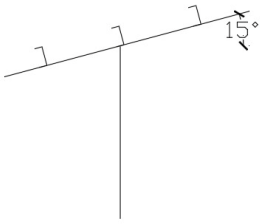
Atap Bentang 18 meter

Gedung *Co-Working Lab*

Jenis Atap	: Galvalum		
Jenis Antar Gording	: 1 m		
Sudut	: 15		
Jarak Antar Kuda – Kuda	: 3 m		
Berat Atap	: 0,066 kN		
Beban Plafond + Besi Hollow	: 0 kN		
Profil C 100 x 50 x 20 x 2			
Gording : Berat	: 0,0356 KN/m		
: $I_3 = I_x$	: 71 cm^4	= 710000	mm^4
: $I_2 = I_y$	: 17 cm^4	= 170000	mm^4
: W_3 = Zx	: 14,3 cm^3	= 14300	mm^3
: W_2 = Zy	: 5,4 cm^3	= 5400	mm^3
Kuda – Kuda : Berat		: 0,64746 kN/m	
Profil		: 400 x 200 x 8 x 13	

1. Rencana Gording

a. Beban gording



Gambar 2. 4 Gording atap kecil

Dead Load

- Beban Atap = $\frac{Jarak\ antar\ gording}{COS\ (sudut)}\ X\ berat$

  = $\frac{1}{COS\ (15)}\ x\ 0{,}066$

  = 0,0684 kN/m

- Beban Plafon + Hollow = Beban Plafond +Besi Hollow

  = 0 kN

- Beban Gording = Berat Gording

  = 0,0356 kN/m

Total Dead Load = 0.104 kN/m

Live Load

Total Live Load = 0,96 kN/m

b. Rencana Momen Gording

M2,D $= \frac{1}{8}$ x q x cos x I^2

$= \frac{1}{8}\ x\ 0{,}104\ x \cos(15)\ x\ 3^2$

= 0,1131 kN/m

M2,L $= \frac{1}{4}$ x p x cos x I

$= \frac{1}{4}\ x\ 0{,}96\ x \cos(15)\ x\ 3$

= 0,6955 kN/m

Kombinasi Beban

1,4 D = 1,4 x 0,1131

= 0,1584 kNm

1,2 D + 1,6 L = 1,2 x 0,1131 + 1,6 X 00,6955

= 1,2486 kNm

Maka beban gording arah 2 = M2,U

= 1,2486 kNm

Direncanakan jumlah sag rod sebanyak 2 buah

M3,D = 1/8 x q_{dl} x sin (15) x $\frac{jarak}{3}^2$

$= \frac{1}{8}\ X\ 0{,}104\ x\ sin(15)\ x(\frac{6}{3})^2$

= 0,0034 kN/m

M3,L = ¼ x q_{ll} x sin (15) x $\frac{jarak}{3}$

$= \frac{1}{4}\ X\ 0{,}96\ x\ sin\ (15)x(\frac{6}{3})$

= 0,0622 kN/m

Kombinasi Beban

1,4 D = 1,4 x 0,0034

= 0,0048 kNm

1,2 D + 1,6 L = 1,2 x 0,0034 + 1,6 x 0,0622

= 0,1036 kNm

Maka beban gording arah 2 = M3,U = 0,1036 kNm

c. Perhitungan Tegangan

fb $= \frac{M2,U}{0,9\ x\ Zx} + \frac{M3,U}{0,9\ x\ Zy}$

fb $= \frac{1,2486 \text{ x } 10^6}{0,9\ x\ 14300} + \frac{0,1036 \text{ x } 10^6}{0,9\ x\ 5400}$

fb = 119,3332 ≤ fy 240 Mpa

d. Pengecekan Defleksi

2 $= \frac{5}{384}\ x\ \frac{Dead\ Load\ x \cos(15) x \frac{Jarak^4}{3}}{200000\ x\ Ix} + \frac{1}{48}\ x\ \frac{Live\ Load\ x \cos(15) x \frac{Jarak^3}{3}}{200000\ x\ Ix}$

$= \frac{5}{384}\ x\ \frac{0,104\ x \cos(15) x \frac{3000^4}{3}}{200000\ x\ 710000} + \frac{1}{48}\ x\ \frac{0,96\ x \cos(15) x \frac{3000^3}{3}}{200000\ x\ 710000}$

= 0,749799

3 $= \frac{5}{384}\ x\ \frac{Dead\ Load\ x \cos(15) x \frac{Jarak^4}{3}}{200000\ x\ Iy} + \frac{1}{48}\ x\ \frac{Live\ Load\ x \cos(15) x \frac{Jarak^3}{3}}{200000\ x\ Iy}$

$= \frac{5}{384}\ x\ \frac{0,104\ x\ sin\ x \frac{3000^4}{3}}{200000\ x\ 710000} + \frac{1}{48}\ x\ \frac{0,96\ x \sin(15) x\ \frac{3000^3}{3}}{200000\ x\ 710000}$

= 0,0104606

O $= \sqrt{2^2 + 3^2}$

$= \sqrt{0,749799^{\,2} +\ 0,0104606^2}$

$= 0,749872888 < 12,5\ (\frac{1}{240}\ x\ jarak\ antar\ kuda - kuda)$

Sag-Rod

Jumlah Gording

A. Perhitungan Beban

Ft,d = Jumlah gording x $\frac{jarak}{3}$ $x\ DL\ x \sin(15)$

= 12 x $\frac{3}{3}$ x 0,104 $x \sin(15)$

= 0,188420265

Ft,l = Jumlah gording x $x\ LL\ x \sin(15)$

= $\frac{13}{2}$ x 0,96 $x \sin(15)$

= 0,869631992

Kombinasi Pembeban

Ft,u = 1,4 Ftd

= 1,4 x 0,188420265

= 0,263788371

Ft,u = 1,2Ftd + 1,6 Ftl

= 1,2 x 0,188420265 + 1,6 x 0,869631992

= 1,617515504

Maka digunakan 1,617515504 karena hasil paling besar yang digunakan

Luas Batang Sag Rod yang dibutuhkan

Asr = $\frac{Ft\ x\ 10^3}{FR\ X\ Fy}$

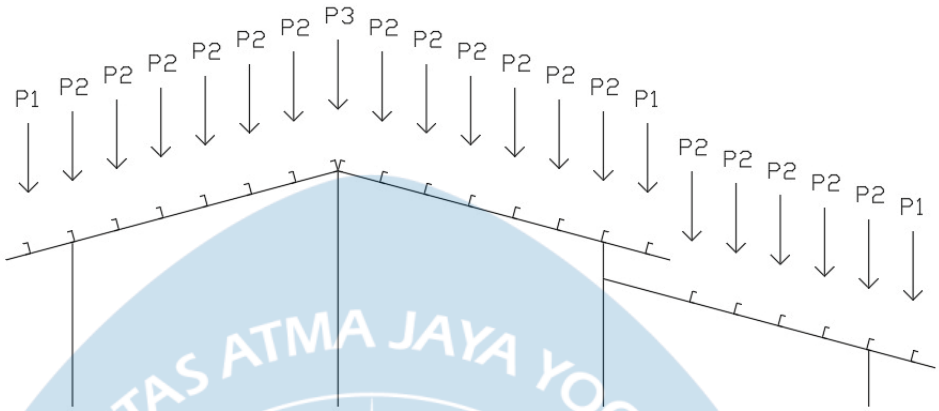
= $\frac{1{,}617515504\ x\ 10\text{^}3}{0{,}9\ x\ 240}$

= 7,488497705

D = $\frac{\sqrt{6\ x\ 4}}{\pi}$

= 3,087823

2. Rencana Beban Kuda-kuda



Gambar 2. 5 beban kuda – kuda atap bentang 18 meter

a. Beban P1

Berat sendiri kuda-kuda $= \left(\frac{1}{2} + 1{,}5\right) \times 0{,}64746$ = 1,295 kN

Berat gording $= 2 \times 3 \times 0{,}0356$ = 0,2136 kN

Berat atap $= \frac{\left(\frac{1}{2}+1{,}5\right)}{\cos 15} \times 3 \times 0{,}066$ = 0,41 kN

Berat plafon = 0

Berat P1 = 1,9186 kN

b. Beban P2

Berat sendiri kuda-kuda $= 1 \times 0{,}64746$ = 0,64746 kN

Berat gording $= 3 \times 0{,}0356$ = 0,1068 kN

Berat atap $= \frac{1}{\cos 15} \times 3 \times 0{,}066$ = 0,205 kN

Berat plafon = 0

Berat P2 = 0,95926 kN

c. Beban P3

Berat sendiri kuda-kuda $= 1 \times 0{,}64746$ = 0,64746 kN

Berat gording $= 2 \times 3 \times 0{,}0356$ = 0,1068 kN

Berat atap $= \frac{1}{\cos 15} \times 3 \times 0{,}066$ = 0,205 kN

Berat plafon = 0

Berat P3 = 1,06606 kN

d. Beban Angin

Beban W1 $= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos a} x\ C_{ti}\ x\ L_1\ x\ Q_w$

$= \frac{\left(\frac{1}{2}+1{,}5\right)}{\cos 15} \times (-0{,}18) \times 3 \times 0{,}25$

$= -0{,}2796$ kN

Beban W2 $= \frac{a}{\cos a}\ x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

$= \frac{1}{\cos 15} \times (-0{,}18) \times 3 \times 0{,}25$

$= -0{,}1398$ kN

Beban W3 $= \frac{1}{2}\ x \frac{a}{\cos a}\ x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

$= \frac{1}{2} \times \frac{1}{\cos 15} \times (-0{,}18) \times 3 \times 0{,}25$

$= -0{,}0699$ kN

Beban W4 $= \frac{1}{2}\ x \frac{a}{\cos a}\ x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

$= \frac{1}{2} \times \frac{1}{\cos 15} \times (-0{,}5158) \times 3 \times 0{,}25$

$= -0{,}2003$ kN

Beban W5 $= \frac{a}{\cos a}\ x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

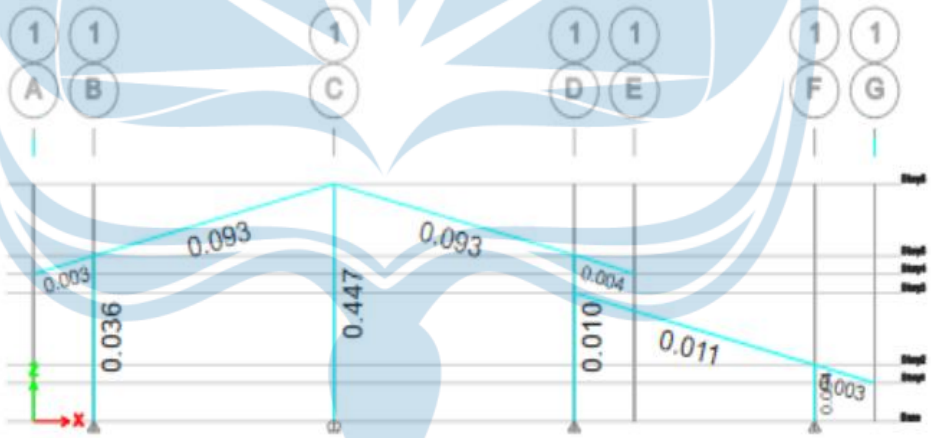
$= \frac{1}{\cos 15} \times (-0{,}5158) \times 3 \times 0{,}25$

$= -0{,}4005$ kN

Beban W6 $= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos a} x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

$= \frac{\left(\frac{1}{2}+1{,}5\right)}{\cos 15} \times (-0{,}5158) \times 3 \times 0{,}25$

$= -0{,}801$ kN



Gambar 2. 6 Hasil analisis atap bentang 18 m pada apliaksi Etabs

3. Perhitungan Rafter

Diketahui data-data sebagai berikut

Tegangan leleh baja (Fy) = 240 MPa

Tegangan sisa (Fr) = 70 MPa

Modulus elastik baja(E)	= 200000 MPa
Angka poisson (V)	= 0,3
Digunakan profil	= IWF 400 x 200 x 8 x 13
Ht	= 400 mm
Bf	= 200 mm
Tw	= 8 mm
Tf	= 13 mm
R	= 16 mm
A	= 8410 mm^2
W	= 660 N/m
H0	= 374 mm
Ix	= 237000000 mm^4
Iy	= 17400000 mm^4
Rx	= 168 mm
Ry	= 45,4 mm
Sx	= 1990000 mm^3
Sy	= 174000 mm^3
Bw	= $ht - 2tf = 374\ mm$
Modulus geser (G)	= 80000 MPa
H1	= $tf + r = 29\ mm$
H2	= $ht - 2h1 = 342\ mm$
H	= $ht - tf = 387\ mm$
J (konstanta torsi)	= $\Sigma(\mathrm{b\ x}\frac{t^3}{3}) = 342159{,}333\ mm$
Iw	= $Iy\ x\ \frac{h^2}{4} = 3{,}51495\ x\ 10^{11}\ mm$

X1 $= \frac{\pi}{sx}\sqrt{E\ G\ J\ \frac{A}{2}} = 12666{,}60123\ mm$

X2 $= 4\ \left(\frac{sx}{(G\ j)^2}\right)\ \frac{iw}{iy}\ = 2{,}37866\ x10^{-10}\ mm$

Zx =1286000 mm^3

Zy = 266000 mm^3

Panjang elemen miring (panjang miring rafter,lx) = 7764,6 mm

Panjang elemen terhaddap sumbu y (jarak antar gording) = 1000 mm

Dari hasil ETABS didapatkan data senagai berikut :

Momen maksimum akibat beban terfaktor (Mu) = 38428680 Nmm

Momen pada ¼ bentang (Ma) = 4670343,603 Nmm

Momen pada ½ bentang (Mb) = 6319613,684 Nmm

Momen pada ¾ bentang (Mc) = 7913615,404 Nmm

Pu = 2634,31 N

Vu = 9831,34 N

Cb = 3,0268

C =1

K = 0,65 (Jepit)

Momen nominal pengaruh local buckling Kelangsingan penampang sayap

$$\lambda = \frac{\text{bf}}{2\text{tf}} = 7{,}692$$

$$\lambda\text{p} = 0{,}38\ \text{x}\ \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 10{,}97$$

$$\lambda r = \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 28{,}86$$

$\lambda <$ λp, maka kompak

Kelangsingan penampang badan

$$\lambda = \frac{h}{tw} = 29{,}769$$

$$\lambda p = 3{,}76 \text{ x } \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 108{,}51$$

$$\lambda r = 5{,}7 \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 164{,}502$$

$\lambda <$ λp, maka kompak

karena kompak maka, Mn = Mp

Mp = Fy x Zx = 308640000 Nmm

Momen nominal pengaruh lateral Buckling

L = 1000 mm

$$Lp = 1{,}76 \text{ ry } \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 2306{,}63 \text{ mm}$$

Tahanan momen lentur

Mn = 30860000 Nmm

$\emptyset Mn = 0{,}9 \text{ Mn} = 277776000\ Nmm$

Tahanan Aksial Tekan

$$\frac{Lcx}{rx} = 77{,}03$$

$$\frac{Lcy}{ry} = 22{,}026$$

$$4{,}71\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 135{,}966$$

Karena

$\frac{\text{Lcx}}{\text{rx}} < 4{,}71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$, maka $Fcr = \left(0{,}658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy$

$Fe = 332{,}669$

$Fcr = 215{,}279\ MPa$

$Pn =$ Fcr . Ag = 1492342,857 N

$\emptyset Pn =$ 0,9 Pn = 1343108,571 N

Interaksi Aksial Tekan dan Momen Lentur

$\frac{\text{Pu}}{\emptyset Pn} = 0{,}041 < 0{,}2$ maka $\frac{\text{Pu}}{2\emptyset Pn} + \frac{Mu}{\emptyset Mn}$

$\frac{\text{Pu}}{2\emptyset Pn} + \frac{Mu}{\emptyset Mn} = 0{,}129 < 1$, **AMAN**

Tahanan Geser

$\frac{\text{h}}{\text{tw}} = 48{,}375 < 1{,}1\sqrt{kv\frac{E}{Fy}} = 73{,}379$, *dengan nilai* $kv = 5{,}34$ **AMAN**

$Vn = 0{,}6\ Fy\ Aw = 460800\ N$

$\emptyset Vn = 0{,}9\ Vn = 414720\ N > Vu$ **AMAN**

Interaksi Geser dan Lentur

$\frac{\text{Mu}}{\emptyset Mn} + 0{,}625\frac{\text{Vu}}{\emptyset \text{Vn}} \leq 1{,}375$

$0{,}123 \leq 1{,}375$ **AMAN**

4. Perencanaan Sambungan Atap Bentang 18 Meter

a. Perhitungan Sambungan Profil IWF x 400 x 200 x 8 x 13

Direncanakan sambungan pada batang yang menggunakan profil IWF 400 x 200 x 8 x 13 pelat mutu BJ37 dan menggunakan baut kelompok A diameter 16 mm dimana batang tersebut menerima gaya tekan sebesar 3,944 kN.

Data Perencanaan:

t profil (web)	= 8 mm
tf	= 13 mm
ht	= 400 mm
bf	= 200 mm

Digunakan baut A325

d baut	= 16 mm
Fnt	= 620 Mpa (SNI 1729:2020 Tabel J3.2)
Fnv	= 372 Mpa (SNI 1729:2020 Tabel J3.2)
d lubang	= 18 mm (SNI 1729:2020 Tabel J3.3M)
Fy	= 240 Mpa
Fu	= 370 Mpa

Dicoba pada sambungan atap IWF 400 x 200 x 8 x 13 digunakan 10 baut

Diketahui Tinjau Bawah Balok

Pu Sin	= -1,02 kN
Pu Cos	= -3,81 kN
Vu Sin	= -0,22 kN

Vu Cos = -0,83 kN

Pu v = -1,02 + -0,83

= -1,85 kN

Pu h = -3,81 – (-0,22)

= -3,59 kN

n = 10 Baut

Puv 1 Baut = $\frac{Pu\ v}{n}$

= $\frac{1,85}{10}$

= 0,19 kN

Puh 1 Baut = $\frac{Pu\ h}{n}$

= $\frac{3,59}{6}$

= 0,36 kN

Kuat Tumpu Profil

ØRn = 0,75 x 2,4 x db x tp x Fu

= 0,75 x 2,4 x 16 x 13 x 370

= 138528 N

= 138,53 kN

Kuat Geser Baut

Fnv = 372 Mpa (baut kelompok A) *(SNI 1729:2020 Tabel J3.2)*

Ab $= \frac{1\ x\ \pi\ db^2}{4}$

$= \frac{1\ x\ \pi\ x\ 16^2}{4}$

$= 201{,}06\ mm^2$

ØRn = 0,75 x Fnv x Ab

= 0,75 x 372 x 201,06

= 56096,28 N

= 56,10 kN

Baut Pengaruh Gaya Axial dan Geser

Puv 1 Baut = 0,19 kN

= 185,5 N

Frv $= \frac{Puv\ 1\ Baut}{\text{Ab}}$

$= \frac{185{,}5}{201{,}06}$

= 0,92 Mpa

F'nt $= 1{,}3\ x\ Fnt - \frac{Fnt}{\text{Ø x Fnv x frv}}$

$= 1{,}3\ x\ 620 - \frac{620}{0{,}75\ \text{x}\ 372\ \text{x}\ 0{,}92}$

= 803,95 Mpa

F'nt > Fnt jadi digunakan Fnt

Fnt = 620 Mpa

ØRn = 0,75 x Fnt x Ab

= 0,75 x 620 x 201,06

= 93493,8 N

= 93,49 Kn

ØRn > Pu h (OK)

Jarak Baut ke Tepi

Jarak minimum = 22 mm *(SNI 1729:2020 Tabel J2.4M)*

Jarak pakai = 25 mm > 22 mm (OK)

Jarak Antar Baut As ke As

Jarak minimum = $d\ x\ \frac{8}{3}$ *(SNI 1729:2020 J3.3)*

= $16\ x\ \frac{8}{3}$

= 42,67 mm

Jarak ideal = 3.d

= 3 x 16

= 48 mm

Jarak pakai = 50 mm > 42,67 mm (OK)

Atap Bentang 16 Meter

Gedung *Co-Working Lab*

Jenis Atap : Galvalum

Jenis Antar Gording : 1 m

Sudut : 15

Jarak Antar Kuda – Kuda : 6 m

Berat Atap : 0,066 kN

Beban Plafond + Besi Hollow: 0 kN

Profil C 100 x 50 x 20 x 2

Gording : Berat : 0,055 kN/m

: I3 = Ix : 106 cm^4 = 1060000 mm^4

: I2 = Iy : 24 cm^4 = 240000 mm^4

: W3 = Zx : 21,3 cm^3 = 21300 mm^3

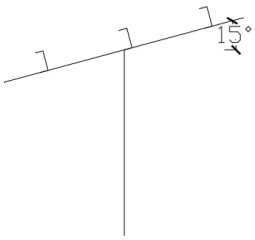
: W2 = Zy : 7,8 cm 3 = 7800 mm^3

Kuda – Kuda : Berat : 0,64746 kN/m

Profil : 400 x 200 x 8 x 13

1. Rencana Gording

a. Beban gording



Gambar 2. 7 Gording atap bentang 18 meter

- Dead Load
- Beban Atap = $\frac{Jarak\ antar\ gording}{COS\ (sudut)}\ X\ Berat\ Atap$

  $= \frac{1}{COS\ (15)}\ X\ 0{,}066$

  = 0,0684 kN/m
- Beban Plafon + Hollow = Beban Plafond + Besi Hollow

  = 0 kN
- Beban Gording = Berat Gording

= 0,055 kN/m

Total Dead Load **= 0.1234 kN/m**

- Live Load

Total Live Load **= 0,96 kN/m**

b. Rencana Momen Gording

M2,D = 1/8 X qdl x cos x I2

$= \frac{1}{8} X\ 0{,}1234\ x \cos(15)\ x\ 6^2$

= 0,5364 kN/m

M2,L = ¼ x qll x cos x I

$= \frac{1}{4} X\ 0{,}96\ x \cos(15)\ x\ 6$

= 1,391 kN/m

Kombinasi Beban

1,4 D = 1,4 x 0,5364

= 0,751 kNm

1,2 D + 1,6 L = 1,2 x 0,5364 + 1,6 x 1,391

= 2,8693 kNm

Maka beban gording arah 2 = M3,U = 2,8693 kNm

Direncanakan jumlah sag rod sebanyak 2 buah

M3,D = 1/8 X qdl x sin (15) x $\frac{jarak}{3} 6^2$

$= \frac{1}{8} X\ 0{,}1234\ xsin(15)\ x(\frac{6}{3})^2$

= 0,5364 kN/m

M3,L = ¼ x qll x sin(15) x $\frac{jarak}{3} 6^2$

= $\frac{1}{4}\ X\ 0{,}96\ x\ sin(15)\ x \left(\frac{6}{3}\right)^2$

= 0,1243 kN/m

Kombinasi Beban

1,4 D = 1,4 X 0,5364

= 0,0224 kNm

1,2 D + 1,6 L = 1,2 X 0,5364 + 1,6 X 0,1243

= 0,2181 kNm

Maka beban gording arah 2 = M3,U = 0,2181 kNm

Perhitungan Tegangan

fb = $\frac{\text{M2,U}}{0{,}9\ x\ Zx} + \frac{\text{M3,U}}{0{,}9\ x\ Zy}$

= $\frac{2{,}8693\ \text{x}\ 10^6}{0{,}9\ x\ 21300} + \frac{0{,}2181\ \text{x}\ 10^6}{0{,}9\ x\ 7800}$

fb = 180,745 ≤ fy 240 Mpa

Pengecekan Defleksi

2 = $\frac{5}{384}\ x\ \frac{Dead\ Load\ x \cos(15) x\ Jarak^4}{200000\ x\ Ix} + \frac{1}{48}\ x\ \frac{Live\ Load\ x \cos(15) x\ Jarak^3}{200000\ x\ Ix}$

= $\frac{5}{384}\ x\ \frac{0{,}1234\ x \cos(15) x\ 6000^4}{200000\ x\ 1060000} + \frac{1}{48}\ x\ \frac{0{,}96\ x \cos(15)\ x\ 6000^3}{200000\ x\ 1060000}$

= 9,507512227

3 $= \frac{5}{384}\ x\ \frac{Dead\ Load\ x \sin 15\ x\ (\frac{jarak}{3})^4}{200000\ x\ Ix} + \frac{1}{48}\ x\ \frac{Live\ Load\ x\ sin\ 15\ x(\frac{jarak}{3})^3}{200000\ x\ Ix}$

$= \frac{5}{384}\ x\ \frac{0{,}104\ x \sin(15) x\ (\frac{6000}{3})^4}{200000\ x\ 1060000} + \frac{1}{48}\ x\ \frac{0{,}96\ x \sin 15\ x\ (\frac{6000}{3})^3}{200000\ x\ 1060000}$

$= 0{,}139483694$

O $= \sqrt{2^2 + 3^2}$

$= \sqrt{9{,}507512227\ ^2 + 0{,}139483694}$

$= 9{,}508535347 < 25\ (\frac{1}{240}\ x\ jarak\ antar\ kuda - kuda)$

Sag-Rod

Jumlah Gording = 12

Perhitungan Beban

Ft,d = Jumlah gording x $\frac{jarak}{3}\ x\ DL\ x \sin(15)$

= 12 x $\frac{6}{3}\ x\ 0.1234\ x \sin(15)$

= 0,766518484

Ft,l = Jumlah gording x $\frac{jarak}{3}\ x\ LL\ x \sin(15)$

= 12 x $\frac{6}{3}\ x\ 0{,}96\ x \sin(15)$

= 1,4907977

Kombinasi Pembeban

Ft,u = 1,4Ftd

= 1,4 x 0,766518484

= 1,073125878

Ft,u = 1,2Ftd + 1,6Ftl

= 1,2 x 0,766518484 + 1,6 x 1,4907977

= 3,3050985

Maka digunakan 3,3050985 karena hasil paling besar yang digunakan

Luas Batang Sag Rod yang dibutuhkan

Asr $= \frac{Ft\ x\ 10^3}{FR\ X\ Fy}$

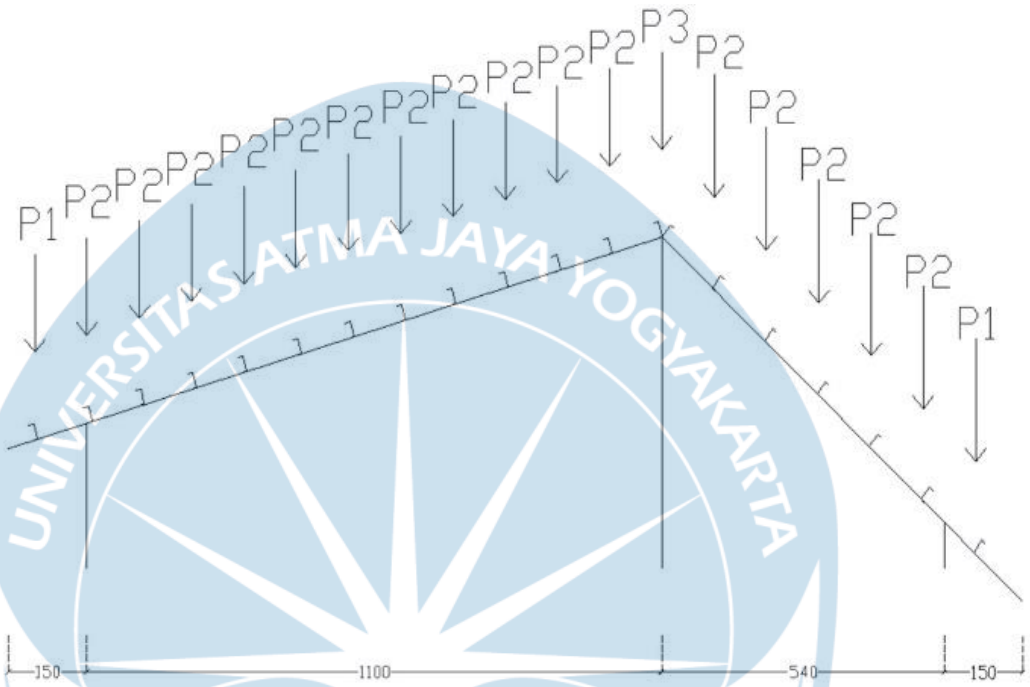
$= \frac{3{,}3050985\ x\ 10^3}{0{,}9\ X\ 240}$

= 15,30138195

d $= \frac{\sqrt{15{,}30138195\ x\ 4}}{\pi}$

= 4,413879

2. Rencana Beban Kuda-kuda



Gambar 2. 8 beban pada atap kuda - kuda

Kuda-kuda bagian kiri

Beban P1

Berat sendiri kuda-kuda $= \left(\frac{1}{2} + 1{,}5\right) \times 0{,}64746$ = 1,295 kN

Berat gording $= 2 \times 6 \times 0{,}055$ = 0,66 kN

Berat atap $= \frac{\left(\frac{1}{2}+1{,}5\right)}{\cos 15} \times 6 \times 0{,}066$ = 0,82 kN

Berat plafon = 0

Berat P1 = 2,775 kN

Beban P2

Berat sendiri kuda-kuda $= 1 \times 0{,}64746$ = 0,64746 kN

Berat gording $= 6 \times 0{,}055$ = 0,33 kN

Berat atap $= \frac{1}{\cos 15} \times 6 \times 0{,}066$ = 0,41 kN

Berat plafon = 0

Berat P2 = 1,38746 kN

Beban P3

Berat sendiri kuda-kuda $= 1 \times 0{,}64746$ = 0,64746 kN

Berat gording $= 2 \times 6 \times 0{,}055$ = 0,66 kN

Berat atap $= \frac{1}{\cos 15} \times 6 \times 0{,}066$ = 0,41 kN

Berat plafon = 0

Berat P3 = 1,71746 kN

Beban Angin

Beban W1 $= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos a} x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

$= \frac{\left(\frac{1}{2}+1{,}5\right)}{\cos 15} \times (-0{,}18) \times 6 \times 0{,}25$

$= -0{,}5591$ kN

Beban W2 $= \frac{a}{\cos a}\ x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

$= \frac{1}{\cos 15} \times (-0{,}18) \times 6 \times 0{,}25$

$= -0{,}2796$ kN

Beban W3 $= \frac{1}{2}\ x \frac{a}{\cos a}\ x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

$= \frac{1}{2} \times \frac{1}{\cos 15} \times (-0{,}18) \times 6 \times 0{,}25$

$= -0{,}1398$ kN

Beban W4 $= \frac{1}{2}\ x \frac{a}{\cos a}\ x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

$= \frac{1}{2} \times \frac{1}{\cos 15} \times (-0{,}578) \times 6 \times 0{,}25$

$= -0{,}4488$ kN

Beban W5 $= \frac{a}{\cos a}\ x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

$= \frac{1}{\cos 15} \times (-0{,}578) \times 6 \times 0{,}25$

$= -0{,}8976$ kN

Beban W6 $= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos a} x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

$= \frac{\left(\frac{1}{2}+1{,}5\right)}{\cos 15} \times (-0{,}578) \times 6 \times 0{,}25$

$= -1{,}7952$ kN

3. Perhitungan Rafter

Diketahui data-data sebagai berikut

Tegangan leleh baja (Fy) = 240 MPa

Tegangan sisa (Fr) = 70 MPa

Modulus elastik baja (E) = 200000 MPa

Angka poisson (V) = 0,3

Digunakan profil	= IWF 400 x 200 x 8 x 13
Ht	= 400 mm
Bf	= 200 mm
Tw	= 8 mm
Tf	= 13 mm
R	= 16 mm
A	= 8410 mm2
W	= 660 N/m
H0	= 374 mm
Ix	= 237000000 mm4
Iy	= 17400000 mm4
Rx	= 168 mm
Ry	= 45,4 mm
Sx	= 1990000 mm3
Sy	= 174000 mm3
Bw	= $ht - 2tf = 374\ mm$
Modulus geser (G)	= 80000 MPa
H1	= $tf + r = 29\ mm$
H2	= $ht - 2h1 = 342\ mm$
H	= $ht - tf = 387\ mm$
J (konstanta torsi)	= $\Sigma(\text{b x}\frac{t^3}{3}) = 342159{,}333\ mm$
Iw	= $Iy\ x\ \frac{h^2}{4} = 3{,}51495\ x\ 10^{11}\ mm$
X1	= $\frac{\pi}{sx}\sqrt{E\ G\ J\ \frac{A}{2}} = 12666{,}60123\ mm$
X2	= $4\ \left(\frac{sx}{(G\ j)^2}\right)\ \frac{iw}{iy} = 2{,}37866\ x10^{-10}\ mm$
Zx	=1286000 mm3
Zy	= 266000 mm3

Panjang elemen miring (panjang miring rafter,lx) = 7764,6 mm

Panjang elemen terhaddap sumbu y (jarak antar gording) = 1000 mm

Dari hasil ETABS didapatkan data senagai berikut :

Momen maksimum akibat beban terfaktor (Mu) = 38428680 Nmm

Momen pada ¼ bentang (Ma) = 4670343,603 Nmm

Momen pada ½ bentang (Mb) = 6319613,684 Nmm

Momen pada ¾ bentang (Mc) = 7913615,404 Nmm

Pu = 2634,31 N

Vu = 9831,34 N

Cb = 3,0268

C =1

K = 0,65 (Jepit)

Momen nominal pengaruh local buckling Kelangsingan penampang sayap

$$\lambda = \frac{\text{bf}}{2\text{tf}} = 7{,}692$$

$$\lambda\text{p} = 0{,}38 \text{ x } \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 10{,}97$$

$$\lambda\text{r} = \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 28{,}86$$

$\lambda < \lambda\text{p}$, maka kompak

Kelangsingan penampang badan

$$\lambda = \frac{h}{tw} = 29{,}769$$

$$\lambda p = 3{,}76 \text{ x } \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 108{,}51$$

$$\lambda r = 5{,}7 \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 164{,}502$$

$\lambda < \lambda p$, maka kompak

karena kompak maka, Mn = Mp

Mp = Fy x Zx = 308640000 Nmm

Momen nominal pengaruh lateral Buckling

L = 1000 mm

$Lp = 1{,}76 \text{ ry } \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 2306{,}63$ mm

Tahanan momen lentur

Mn = 30860000 Nmm

$\emptyset Mn = 0{,}9 \text{ Mn} = 277776000\ Nmm$

Tahanan Aksial Tekan

$$\frac{Lcx}{rx} = 77{,}03$$

$$\frac{Lcy}{ry} = 22{,}026$$

$$4{,}71\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 135{,}966$$

Karena

$\frac{\text{Lcx}}{\text{rx}} < 4{,}71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$, maka $Fcr = \left(0{,}658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy$

$Fe = 332{,}669$

$Fcr = 215{,}279\ MPa$

$Pn =$ Fcr . Ag = 1492342,857 N

$\emptyset Pn =$ 0,9 Pn = 1343108,571 N

Interaksi Aksial Tekan dan Momen Lentur

$\frac{\text{Pu}}{\emptyset Pn} = 0{,}041 < 0{,}2$ maka $\frac{\text{Pu}}{2\emptyset Pn} + \frac{Mu}{\emptyset Mn}$

$\frac{\text{Pu}}{2\emptyset Pn} + \frac{Mu}{\emptyset Mn} = 0{,}129 < 1$, AMAN

Tahanan Geser

$$\frac{\text{h}}{\text{tw}} = 48{,}375 < 1{,}1\sqrt{kv\frac{E}{Fy}} = 73{,}379\ , dengan\ nilai\ kv = 5{,}34$$

AMAN

$Vn = 0{,}6\ Fy\ Aw = 460800\ N$

$\emptyset Vn = 0{,}9\ Vn = 414720\ N > Vu$,AMAN

Interaksi Geser dan Lentur

$$\frac{\text{Mu}}{\emptyset Mn} + 0{,}625\frac{\text{Vu}}{\emptyset \text{Vn}} \leq 1{,}375$$

$0{,}123 \leq 1{,}375$ AMAN

4. Perencanaan Sambungan Atap Bentang 16 Meter

a. Perhitungan Sambungan Profil IWF x 400 x 200 x 8 x 13

Direncanakan sambungan pada batang yang menggunakan profil IWF 400 x 200 x 8 x 13 pelat mutu BJ37 dan menggunakan baut kelompok A diameter 16 mm dimana batang tersebut menerima gaya tekan sebesar 3,944 kN.

Data Perencanaan:

t profil (web) = 8 mm

tf = 13 mm

ht = 400 mm

bf = 200 mm

Digunakan baut A325

d baut = 16 mm

Fnt = 620 Mpa (SNI 1729:2020 Tabel J3.2)

Fnv = 372 Mpa (SNI 1729:2020 Tabel J3.2)

d lubang = 18 mm (SNI 1729:2020 Tabel J3.3M)

Fy = 240 Mpa

Fu = 370 Mpa

Dicoba pada sambungan atap IWF 400 x 200 x 8 x 13 digunakan 6 baut

Diketahui Tinjau Bawah Balok

Pu Sin = -1,02 kN

Pu Cos = -3,81 kN

Vu Sin = -0,22 kN

Vu Cos = -0,83 kN

Pu v = -1,02 + -0,83

= -1,85 kN

Pu h = -3,81 – (-0,22)

= -3,59 kN

n = 10 Baut

Puv 1 Baut = $\frac{Pu\ v}{n}$

= $\frac{1,85}{10}$

= 0,19 kN

Puh 1 Baut = $\frac{Pu\ h}{n}$

= $\frac{3,59}{6}$

= 0,36 kN

Kuat Tumpu Profil

ØRn = 0,75 x 2,4 x db x tp x Fu

= 0,75 x 2,4 x 16 x 13 x 370

= 138528 N

= 138,53 kN

Kuat Geser Baut

Fnv = 372 Mpa (baut kelompok A) (SNI 1729:2020 Tabel J3.2)

Ab = $\frac{1\ x\ \pi\ db^2}{4}$

= $\frac{1\ x\ \pi\ x\ 16^2}{4}$

= 201,06 mm2

ØRn = 0,75 x Fnv x Ab

= 0,75 x 372 x 201,06

= 56096,28 N

= 56,10 kN

Baut Pengaruh Gaya Axial dan Geser

Puv 1 Baut = 0,19 kN

= 185,5 N

Frv $= \frac{Pu\ v\ 1\ Baut}{\text{Ab}}$

$= \frac{185,5}{201,06}$

= 0,92 Mpa

F'nt $= 1,3\ x\ Fnt - \frac{Fnt}{\text{Ø x Fnv x frv}}$

$= 1,3\ x\ 620 - \frac{620}{0,75 \text{ x } 372 \text{ x } 0,92}$

= 803,95 Mpa

F'nt > Fnt jadi digunakan Fnt

Fnt = 620 Mpa

ØRn = 0,75 x Fnt x Ab

= 0,75 x 620 x 201,06

= 93493,8 N

= 93,49 Kn

ØRn > Pu h (OK)

Jarak Baut ke Tepi

Jarak minimum = 22 mm (SNI 1729:2020 Tabel J2.4M)

Jarak pakai = 25 mm > 22 mm (OK)

Jarak Antar Baut As ke As

Jarak minimum $= d\ x\ \frac{8}{3}$ (SNI 1729:2020 J3.3)

$= 16\ x\ \frac{8}{3}$

= 42,67 mm

Jarak ideal = 3.d

= 3 x 16

= 48 mm

Jarak pakai = 50 mm > 42,67 mm (OK)

Atap Bentang 16 Meter

Gedung *Co-Working Lab*

Jenis Atap : Galvalum

Jenis Antar Gording : 1 m

Sudut : 40

Jarak Antar Kuda – Kuda : 6 m

Berat Atap : 0,066 kN

Beban Plafond + Besi Hollow: 0 kN

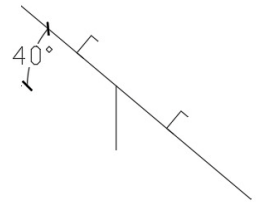
Profil C 100 x 50 x 20 x 3,2

Gording	: Berat	: 0,055 kN/m		
	: I3 = Ix	: 106 cm 4	= 1060000	mm^4
	: I2 = Iy	: 24 cm4	= 240000	mm^4
	: W3 = Zx	: 21,3 cm3	= 21300	mm^3
	: W2 = Zy	: 7,8 cm3	= 7800	mm^3
	Kuda – Kuda	: Berat	: 0,64746 kN/m	

Profil : 400 x 200 x 8 x 13

1. Rencana Gording

a. Beban gording



Gambar 2. 9 Gording atap bentang 18 meter

Dead Load

- Beban Atap = $\frac{Jarak\ antar\ gording}{COS\ (sudut)}\ X\ Berat\ Atap$

  $= \frac{1}{COS\ (40)}\ X\ 0{,}066$

  = 0,0862 kN/m
- Beban Plafon + Hollow = Beban Plafond + Besi Hollow

  = 0 kN
- Beban Gording = Berat Gording

  = 0,055 kN/m

Total Dead Load **= 0.1412 kN/m**

Live Load

Total Live Load **= 0,96 kN/m**

b. Rencana Momen Gording

M2,D $= \frac{1}{8}$ X qdl x cos x $Jarak^2$

$= \frac{1}{8}\ X\ 0{,}1412\ x\ \cos(40)\ x\ 6^2$

= 0,4868 kN/m

M2,L $= \frac{1}{4}$ x qll x cos x Jarak

$= \frac{1}{4}\ X\ 0{,}96\ x\ \cos(40)\ x\ 6$

= 1,1032 kN/m

Kombinasi Beban

1,4 D = 1,4 X 0,4868

= 0,6816 kNm

1,2 D + 1,6 L = 1,2 X 0,4868 + 1,6 X 1,1032

= 2,3493 kNm

Maka beban gording arah 2 = M2,U = 2,3493 kNm

Direncanakan jumlah sag rod sebanyak 2 buah

M3,D $= \frac{1}{8}$ X qdl x sin (40) x $(\frac{jarak}{3})^2$

$= \frac{1}{8}\ X\ 0{,}1412\ x\ \sin(40)\ x(\frac{6}{3})^2$

= 0,0454 KN/m

M3,L $= \frac{1}{4}$ x qll x sin(40) x $(\frac{jarak}{3})^2$

$= \frac{1}{4}\ X\ 0{,}96\ x\ \sin(40)\ x\ (\frac{6}{3})^2$

= 0,3086 kN/m

Kombinasi Beban

1,4 D = 1,4 X 0,0454

= 0,0636 kNm

1,2 D + 1,6 L = 1,2 X 0,0454 + 1,6 X 0,3086

= 0,5483 kNm

Maka beban gording arah 2 = M3,U = 0,5483 kNm

c. Perhitungan Tegangan

fb $= \frac{\text{M2,U}}{0{,}9\ x\ Zx} + \frac{\text{M3,U}}{0{,}9\ x\ Zy}$

fb $= \frac{2{,}3493 \text{ x } 10\text{^}6}{0{,}9\ x\ 21300} + \frac{0{,}5483 \text{ x } 10\text{^}6}{0{,}9\ x\ 7800}$

fb = 200,6563 ≤ fy 240 Mpa

d. Pengecekan Defleksi

2 $= \frac{5}{384}\ x\ \frac{Dead\ Load\ x \cos(40)\ x\ jarak^4}{200000\ x\ Ix} + \frac{1}{48}\ x\ \frac{Live\ Load\ x \cos(40) x\ jarak^3}{200000\ x\ Ix}$

$= \frac{5}{384}\ x\ \frac{0.1412\ x \cos(40)\ x\ 15^4}{200000\ x\ 1060000} + \frac{1}{48}\ x\ \frac{0{,}96\ x \cos(40)\ x\ 15^3}{200000\ x\ 1060000}$

= 8,625479759

3 $= \frac{5}{384}\ x\ \frac{Dead\ Load\ x \sin 40\ x\ (\frac{jarak}{3})^4}{200000\ x\ Ix} + \frac{1}{48}\ x\ \frac{Live\ Load\ x \sin(40) x\ (\frac{jarak}{3})^3}{200000\ x\ Ix}$

$= \frac{5}{384}\ x\ \frac{\mathbf{0.1412}\ x \sin 40 x\ (\frac{6000}{3})^4}{200000\ x\ 1060000} + \frac{1}{48}\ x\ \frac{0{,}96\ x \sin 40\ x\ (\frac{6000}{3})^3}{200000\ x\ 1060000}$

= 0,396073226

O $= \sqrt{2^2 + 3^2}$

$= \sqrt{8{,}625479759^{\ 2} + 0{,}396073226^{\ 2}}$

$= 8{,}634568609 < 25\ (\frac{1}{240}\ x\ jarak\ antar\ kuda - kuda)$

Sag-Rod

Jumlah Gording = 6

Perhitungan Beban

Ft,d = Jumlah gording x $\frac{jarak}{3}$ $x\ DL\ x \sin(40)$

= 6 x $\frac{6}{3}$ $x\ \mathbf{0.1412}\ x \sin(40)$

= 1,089139326

Ft,l = Jumlah gording x $\frac{jarak}{3}$ $x\ LL\ x \sin(40)$

= 6 x $\frac{6}{3}$ x 0,96 $x \sin(40)$

= 1,851228316

Kombinasi Pembebanan

Ft,u = 1,4Ftd

= 1,4 x 1,089139326

= 1,524795056

Ft,u = 1,2Ftd + 1,6Ftl

= 1,2 x 1,089139326 + 1,6 x 1,851228316

= 4,268932496

Maka digunakan 4,268932496 karena hasil paling besar yang digunakan

Luas Batang Sag Rod yang dibutuhkan

Asr = $\frac{Ft\ x\ 10^3}{FR\ X\ Fy}$

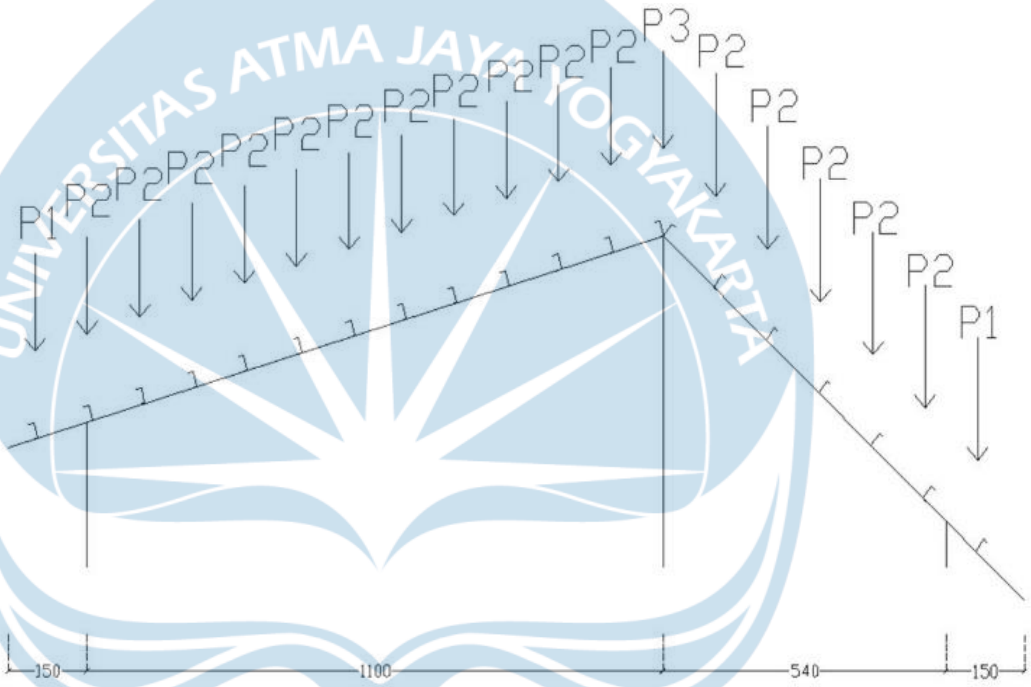
= $\frac{4{,}268932496\ x\ 10^3}{0{,}9\ X\ 240}$

= 19,76357637

d $= \frac{\sqrt{19{,}76357637\ x\ 4}}{\pi}$

$= 5{,}01635$

2. Rencana Beban Kuda-kuda



Gambar 2. 10 beban pada atap kuda - kuda

Kuda-kuda bagian kanan

a. Beban P4

Berat sendiri kuda-kuda	$= \left(\frac{1}{2} + 0{,}9\right) \times 0{,}64746$	= 0,9065 kN
Berat gording	$= 6 \times 0{,}055$	= 0,33 kN
Berat atap	$= \frac{\left(\frac{1}{2}+0{,}9\right)}{\cos 40} \times 6 \times 0{,}066$	= 0,7238 kN
Berat plafon	= 0	

Berat P4 = 1,9603 kN

Beban P5

Berat sendiri kuda-kuda = $1 \times 0{,}64746$ = 0,64746 kN

Berat gording = $6 \times 0{,}055$ = 0,33 kN

Berat atap = $\frac{1}{\cos 40} \times 6 \times 0{,}066$ = 0,517 kN

Berat plafon = 0

Berat P5 = 1,49446 kN

b. Beban Angin

Beban W1 = $\frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos a} x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

= $\frac{\left(\frac{1}{2}+0{,}9\right)}{\cos 15} \times (0{,}311) \times 6 \times 0{,}25$

= 0,6762 kN

Beban W2 = $\frac{a}{\cos a}\ x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

= $\frac{1}{\cos 40} \times (0{,}311) \times 6 \times 0{,}25$

= 0,609 kN

Beban W3 = $\frac{1}{2}\ x \frac{a}{\cos a}\ x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

= $\frac{1}{2} \times \frac{1}{\cos 40} \times 0{,}311 \times 6 \times 0{,}25$

= 0,3045 kN

Beban W4 $= \frac{1}{2}\ x \frac{a}{\cos a}\ x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

$= \frac{1}{2} \times \frac{1}{\cos 40} \times (-0{,}6) \times 6 \times 0{,}25$

$= -0{,}5875$ kN

Beban W5 $= \frac{a}{\cos a}\ x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

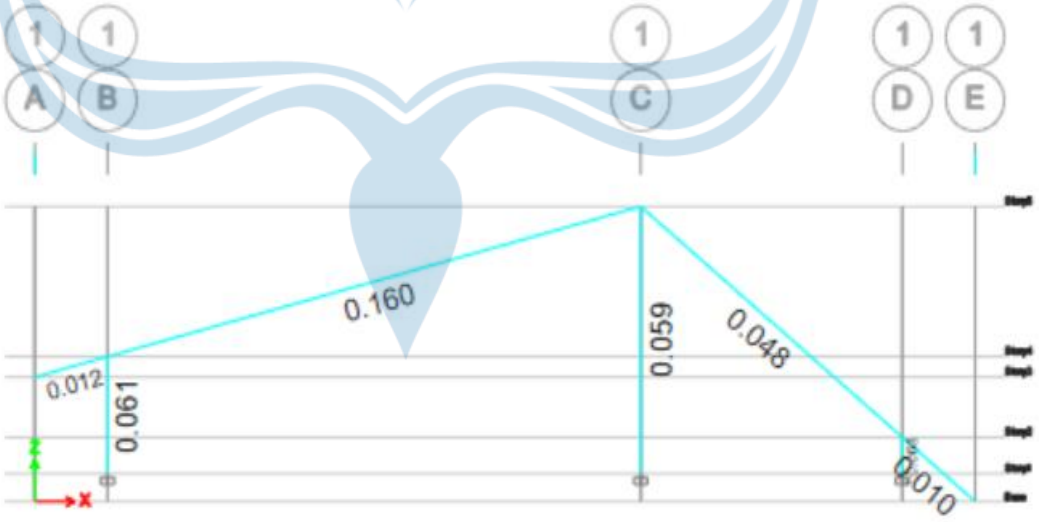
$= \frac{1}{\cos 40} \times (-0{,}6) \times 6 \times 0{,}25$

$= -1{,}1749$ kN

Beban W6 $= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos a} x\ Cti\ x\ L_1\ x\ Qw$

$= \frac{\left(\frac{1}{2}+0{,}9\right)}{\cos 40} \times (-0{,}6) \times 6 \times 0{,}25$

$= -1{,}6449$ kN



Gambar 2. 11 Hasil analisis atap kecil oleh Etabs

3. Perhitungan Rafter

Diketahui data-data sebagai berikut

Tegangan leleh baja (Fy)	= 240 MPa
Tegangan sisa (Fr)	= 70 MPa
Modulus elastik baja (E)	= 200000 MPa
Angka poisson (V)	= 0,3
Digunakan profil	= IWF 400 x 200 x 8 x 13
Ht	= 400 mm
Bf	= 200 mm
Tw	= 8 mm
Tf	= 13 mm
R	= 16 mm
A	= 8410 mm^2
W	= 660 N/m
H0	= 374 mm
Ix	= 237000000 mm^4
Iy	= 17400000 mm^4
Rx	= 168 mm
Ry	= 45,4 mm
Sx	= 1990000 mm^3
Sy	= 174000 mm^3
Bw	= $ht - 2tf = 374\ mm$
Modulus geser (G)	= 80000 MPa
H1	= $tf + r = 29\ mm$
H2	= $ht - 2h1 = 342\ mm$
H	= $ht - tf = 387\ mm$

J (konstanta torsi) $= \Sigma(b \times \frac{t^3}{3}) = 342159{,}333\ mm$

Iw $= Iy\ x\ \frac{h^2}{4} = 3{,}51495\ x\ 10^{11}\ mm$

X1 $= \frac{\pi}{sx}\sqrt{E\ G\ J\ \frac{A}{2}} = 12666{,}60123\ mm$

X2 $= 4\ \left(\frac{sx}{(G\ j)^2}\right)\ \frac{iw}{iy} = 2{,}37866\ x10^{-10}\ mm$

Zx $= 1286000\ mm^3$

Zy $= 266000\ mm^3$

Panjang elemen miring (panjang miring rafter,lx) = 7764,6 mm

Panjang elemen terhaddap sumbu y (jarak antar gording) = 1000 mm

Dari hasil ETABS didapatkan data senagai berikut :

Momen maksimum akibat beban terfaktor (Mu) = 38428680 Nmm

Momen pada ¼ bentang (Ma) = 4670343,603 Nmm

Momen pada ½ bentang (Mb) = 6319613,684 Nmm

Momen pada ¾ bentang (Mc) = 7913615,404 Nmm

Pu = 2634,31 N

Vu = 9831,34 N

Cb = 3,0268

C =1

K = 0,65 (Jepit)

Momen nominal pengaruh local buckling Kelangsingan penampang sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = 7{,}692$$

$$\lambda p = 0{,}38 \times \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 10{,}97$$

$\lambda r = \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 28{,}86$

$\lambda < \lambda p$, maka kompak

Kelangsingan penampang badan

$\lambda = \frac{h}{tw} = 29{,}769$

$\lambda p = 3{,}76 \text{ x } \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 108{,}51$

$\lambda r = 5{,}7 \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 164{,}502$

$\lambda < \lambda p$, maka kompak

karena kompak maka, Mn = Mp

Mp = Fy x Zx = 308640000 Nmm

Momen nominal pengaruh lateral Buckling

L = 1000 mm

$Lp = 1{,}76 \text{ ry} \sqrt{\frac{E}{Fy}} = 2306{,}63$ mm

Tahanan momen lentur

Mn = 30860000 Nmm

$\emptyset Mn = 0{,}9 \text{ Mn} = 277776000\ Nmm$

Tahanan Aksial Tekan

$\frac{Lcx}{rx} = 77{,}03$

$\frac{\text{Lcy}}{\text{ry}} = 22{,}026$

$4{,}71\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 135{,}966$

Karena

$\frac{\text{Lcx}}{\text{rx}} < 4{,}71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$, maka $Fcr = \left(0{,}658^{\frac{Fy}{Fe}}\right)Fy$

$Fe = 332{,}669$

$Fcr = 215{,}279\ MPa$

$Pn =$ Fcr . Ag = 1492342,857 N

$\emptyset Pn =$ 0,9 Pn = 1343108,571 N

Interaksi Aksial Tekan dan Momen Lentur

$\frac{\text{Pu}}{\emptyset Pn} = 0{,}041 < 0{,}2$ maka $\frac{\text{Pu}}{2\emptyset Pn} + \frac{Mu}{\emptyset Mn}$

$\frac{\text{Pu}}{2\emptyset Pn} + \frac{Mu}{\emptyset Mn} = 0{,}129 < 1$, AMAN

Tahanan Geser

$\frac{\text{h}}{\text{tw}} = 48{,}375 < 1{,}1\sqrt{kv\frac{E}{Fy}} = 73{,}379$, $dengan\ nilai\ kv = 5{,}34$

AMAN

$Vn = 0{,}6\ Fy\ Aw = 460800\ N$

$\emptyset Vn = 0{,}9\ Vn = 414720\ N > Vu$,AMAN

Interaksi Geser dan Lentur

$\frac{\text{Mu}}{\emptyset Mn} + 0{,}625\frac{\text{Vu}}{\emptyset\text{Vn}} \leq 1{,}375$

$0{,}123 \leq 1{,}375$

AMAN

4.Perencanaan Sambungan Atap

a. Perhitungan Sambungan Profil IWF 400 x 200 x 8 x 13

Direncanakan sambungan pada batang yang menggunakan profil IWF 400 x 200 x 8 x 13 pelat mutu BJ37 dan menggunakan baut kelompok A diameter 16 mm dimana batang tersebut menerima gaya tekan sebesar 3,944 kN.

Data Perencanaan:

t profil (web)	= 8 mm
tf	= 13 mm
ht	= 400 mm
bf	= 200 mm

Digunakan baut A325

d baut	= 16 mm
Fnt	= 620 Mpa (SNI 1729:2020 Tabel J3.2)
Fnv	= 372 Mpa (SNI 1729:2020 Tabel J3.2)
d lubang	= 18 mm (SNI 1729:2020 Tabel J3.3M)
Fy	= 240 Mpa
Fu	= 370 Mpa

Dicoba pada sambungan atap IWF 400 x 200 x 8 x 13 digunakan 10 baut

Diketahui Tinjau Bawah Balok

Pu Sin = -1,02 kN

Pu Cos = -3,81 kN

Vu Sin = -0,22 kN

Vu Cos = -0,83 kN

Pu v = -1,02 + -0,83

= -1,85 kN

Pu h = -3,81 – (-0,22)

= -3,59 kN

n = 10 Baut

Puv 1 Baut = $\frac{Pu\ v}{n}$

= $\frac{1,85}{10}$

= 0,19 kN

Puh 1 Baut = $\frac{Pu\ h}{n}$

= $\frac{3,59}{6}$

= 0,36 kN

Kuat Tumpu Profil

ØRn = 0,75 x 2,4 x db x tp x Fu

= 0,75 x 2,4 x 16 x 13 x 370

= 138528 N

= 138,53 kN

Kuat Geser Baut

Fnv = 372 Mpa (baut kelompok A) *(SNI 1729:2020 Tabel J3.2)*

Ab $= \frac{1\ x\ \pi\ db^2}{4}$

$= \frac{1\ x\ \pi\ x\ 16^2}{4}$

= 201,06 mm^2

ØRn = 0,75 x Fnv x Ab

= 0,75 x 372 x 201,06

= 56096,28 N

= 56,10 kN

Baut Pengaruh Gaya Axial dan Geser

Puv 1 Baut = 0,19 kN

= 185,5 N

Frv $= \frac{Pu\ v\ 1\ Baut}{\text{Ab}}$

$= \frac{185,5}{201,06}$

= 0,92 Mpa

F'nt $= 1,3\ x\ Fnt - \frac{Fnt}{\text{Ø x Fnv x frv}}$

$= 1{,}3\ x\ 620 - \frac{620}{0{,}75 \text{ x } 372 \text{ x } 0{,}92}$

= 803,95 Mpa

F'nt > Fnt jadi digunakan Fnt

Fnt = 620 Mpa

ØRn = 0,75 x Fnt x Ab

= 0,75 x 620 x 201,06

= 93493,8 N

= 93,49 Kn

ØRn > Pu h (OK)

Jarak Baut ke Tepi

Jarak minimum = 22 mm *(SNI 1729:2020 Tabel J2.4M)*

Jarak pakai = 25 mm > 22 mm (OK)

Jarak Antar Baut As ke As

Jarak minimum = $d\ x\ \frac{8}{3}$ *(SNI 1729:2020 J3.3)*

= $16\ x\ \frac{8}{3}$

= 42,67 mm

Jarak ideal = 3.d

= 3 x 16

= 48 mm

Jarak pakai = 50 mm > 42,67 mm (OK)

2.8 Perancangan Tangga

A. Tangga Utama Lift

1. Perencanaan Tangga Utama *(Lift)*

a. Data perencanaan

Tinggi Lantai = 3500 mm
Lebar tangga = 2520 mm
Lebar anak tangga (antrede) = 280 mm
Tinggi anak tangga (optrade) = 175 mm
Tebal pelat tangga = 130 mm
Tebal pelat bordes = 13 cm
Berat Volume Beton = 24 kN/m^3
Berat Volume Ubin = 21 kN/m^3

Maka didapatkan seperti berikut

- Jumlah anak tangga (n) $= \frac{Het}{0}$

  $= \frac{3500}{175}$

  = 20 buah

  Dipakai = 20 buah

- Lebar tangga (Ltg) $= \left(\frac{1}{2}\ x\ \frac{tinggi\ tangga}{optrade} - 1\right)\ x\ antrede$

  $= \left(\frac{1}{2}\ x\ \frac{3500}{175} - 1\right)$ x 280

  = 2520 mm

- α $= arc\ \tan\frac{o}{a}$

  $= arc\ \tan\frac{175}{280}$

  = 32,005 derajat

b. Rencana beban tangga

Berat sendiri tangga $= \frac{tebal\ plat\ tangga}{\alpha}$ x berat volume beton

$= \frac{130}{\cos 32{,}005^{o}}$ x 24

$= 3{,}75342\ \text{kN/m}^2$

Berat anak tangga $= \frac{1}{2}$ x optrede x berat volume beton

$= \frac{1}{2}$ x 0,175 x 24

$= 2{,}1\ \text{kN/m}^2$

Berat anak tangga = 0,05 x berat volume ubin

= 0,05 x 21

$= 1{,}05\ \text{kN/m}^2$

Berat railing (diperkirakan) $= 1\ \text{kN/m}^2$

$\sum$ *Beban atg* $= 2{,}05\ \text{kN/m}^2$

c. Berat qbd bordes

Berat sendiri tangga = tebal plat tangga x berat volume beton

= 0,13 x 24

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

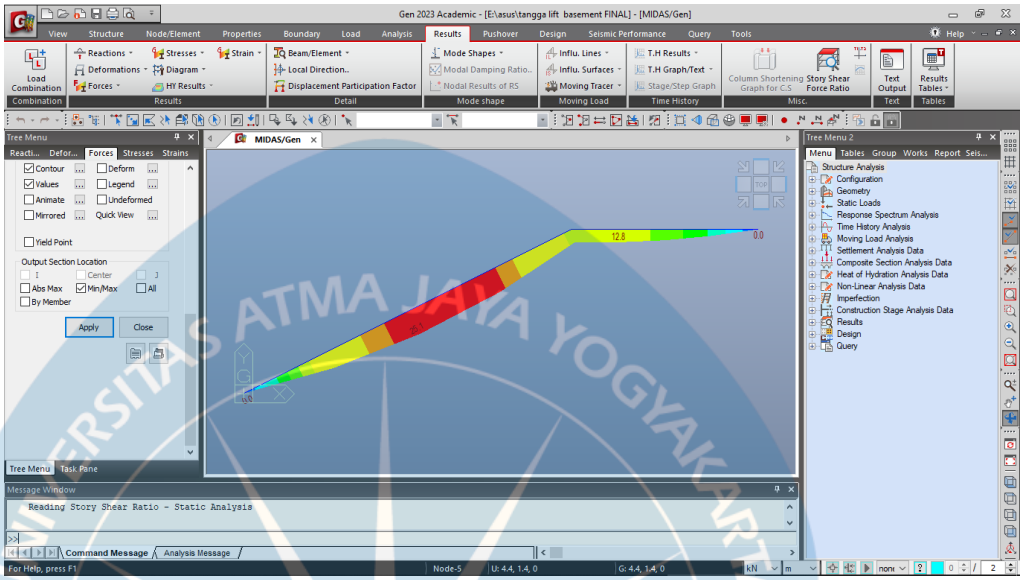
Berat ubin dan spesi = 0,005 x berat volume ubin

= 0,005 x 21

$= 1{,}05\ \text{kN/m}^2$

Beban Hidup = 4,79 (SNI)

d. Output momen dari Midas



Gambar 2. 12 Hasil analisis momen oleh Midas Tangga Lift

Berdasarkan hasil pemebebanan di Midas didapatkan hasil momen dengan menggunakan kombinasi pembebanan 1,2 DL +1,6 LL dan 1,4 DL, dari kombinasi pembebanan tersebut, didapatkan hasil bagian bordes tangga dengan Mur = 25,1 kNm dan Vur = 20 kNm sehingga dengan menggunakan redistribusi momen didapat momen negatif tumpuan = 12,550 kNm dan momen positif lapangan = 20,080 kNm.

2. Rencana Penulangan Tangga

a. Rencana penulangan tangga tumpuan

Mux = 0,5 Mur = 0,5 x 25,1 = 12,550 kNm

Direncanakan

Tulangan Pokok	= D13
Tulangan Susut	= D10
Fy Tulangan Pokok	= 420 MPa
Fy Tulangan Susut	= 280 MPa
F'c	= 30 MPa
b	= 1000 mm
htg	= 130 mm

Selimut Beton = 20 mm

$_{\beta}1$ = 0,8357

ds = 130 – 20 – (13/2) = 103,5 mm

k $= \frac{Mux}{0,9}$ x b x d^2

$= \frac{12,550}{0,9}$ x 1000 x $103,5^2$

= 1,302 Mpa

P $= \frac{0.85\ x\ f'c}{fy}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ k}{0,85\ x\ f'c}}\right]$

$= \frac{0.85\ x\ 30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 1,302}{0,85\ x\ 30}}\right]$

= 0,00318

As min $= \frac{0,0018\ x\ 420}{fy}$ x Ag

$= \frac{0,0018\ x\ 420}{420}$ x $\frac{130}{420}$

= 234 mm^2

As perlu = p x b x d

= 0,00318 x 10^{-3} x 1000 x 103,5

= 345 mm^2

S $= \frac{0,25\ \pi d^2\ x\ b}{As\ perlu}$

$= \frac{0,25\ \pi\ x\ 13^2\ x\ 1000}{345}$

= 384,73 mm

Digunakan D13-300

Cek Gaya Geser

Vc = 0,17 x $\sqrt{F'c}$ x b x d

Vc = 0,17 x $\sqrt{30}$ x 1000 x 103,5

Vc = 96,37178 kN

Ø Vc = 0,75 Vc

= 0,75 x 96,37178

= 72,27884 kN > 56,998 (Aman)

Tulangan Susut

As min = 234 mm^2

S = $\frac{0{,}25\ \pi d^2\ x\ b}{As\ min}$

= $\frac{0{,}25\ \pi\ 10^2\ x\ 1000}{234}$

= 335,64 mm

Digunakan tulangan susut P10 – 300

b. Rencana Penulangan Tangga Lapangan

Mux = 0,8 Mur = 0,8 x 25,1 = 20,080 kNm

Direncanakan

Tulangan Pokok = D13

Tulangan Susut = P10

Fy Tulangan Pokok = 420 MPa

Fy Tulangan Susut = 280 MPa

F'c = 30 MPa

b = 1000 mm

htg = 130 mm

Selimut Beton = 20 mm

$_{\beta}1$ = 0,8357

ds = 130 – 20 – (13/2) = 103,5 mm

k $= \frac{Mux}{0,9}$ x b x d^2

$= \frac{20,080}{0,9}$ x 1000 x $103,5^2$

= 2,083 Mpa

P $= \frac{0.85\ x\ f'c}{fy}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ k}{0,85\ x\ f'c}}\right]$

$= \frac{0.85\ x\ 30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 2,083}{0,85\ x\ 30}}\right]$

= 0,00518

As min $= \frac{0,0018\ x\ 420}{fy}$ x Ag

$= \frac{0,0018\ x\ 420}{420}$ x $\frac{130}{420}$

= 234 mm^2

As perlu = p x b x d

= 0,00518 x 10^{-3} x 1000 x 103,5

= 536,123 mm^2

S $= \frac{0,25\ \pi d^2\ x\ b}{As\ perlu}$

$= \frac{0,25\ \pi\ x\ 13^2\ x\ 1000}{536,123}$

= 247,58 mm

Digunakan D13-200

Cek Gaya Geser

Vc = 0,17 x $\sqrt{F'c}$ x b x d

Vc = 0,17 x $\sqrt{30}$ x 1000 x 103,5

Vc = 96,37178 kN

Kesimpulan: Dari hasil analisis, digunakan tulangan sebagai berikut:

Penulangan pada tangga dengan tebal pelat 130 mm yaitu tulangan pokok D13 - 300 dan tulangan susut P10 - 300.

B. Tangga Darurat

1. Perencanaan Tangga Darurat

a. Data perencanaan

Tinggi Lantai	= 4000 mm
Lebar tangga	= 252 mm
Lebar anak tangga (antrede)	= 280 mm
Tinggi anak tangga (optrade)	= 175 mm
Tebal pelat tangga	= 130 mm
Tebal pelat bordes	= 13 cm
Berat Volume Beton	= 24 kN/m^3
Berat Volume Ubin	= 21 kN/m^3

Maka didapatkan seperti berikut

- Jumlah anak tangga (n) = $\frac{Het}{0}$

= $\frac{4000}{175}$

= 22,86 buah = 23 buah

- Lebar tangga (Ltg) $= \left(\frac{1}{2}\ x\ \frac{tinggi\ tangga}{optrade} - 1\right)\ x\ antrede$

  $= \left(\frac{1}{2}\ x\ \frac{4000}{175} - 1\right)$ x 280

  = 2920 mm

- α $= arc\ \tan\frac{o}{a}$

  $= arc\ \tan\frac{175}{280}$

  = 32,005 derajat

b. Rencana beban tangga

- Berat sendiri tangga $= \frac{tebal\ plat\ tangga}{\alpha}$ x berat volume beton

  $= \frac{130}{\cos 32{,}005^{o}}$ x 24

  $= 3{,}75342\ kN/m^{2}$

- Berat anak tangga $= \frac{1}{2}$ x optrede x berat volume beton

  $= \frac{1}{2}$ x 0,175 x 24

  $= 2{,}1\ kN/m^{2}$

- Berat anak tangga = 0,05 x berat volume ubin

  = 0,05 x 21

  $= 1{,}05\ kN/m^{2}$

- Berat railing (diperkirakan) $= 1\ kN/m^{2}$

$\sum Beban\ atg = 2{,}05\ kN/m^{2}$

c. Berat qbd bordes

- Berat sendiri tangga = tebal plat tangga x berat volume beton

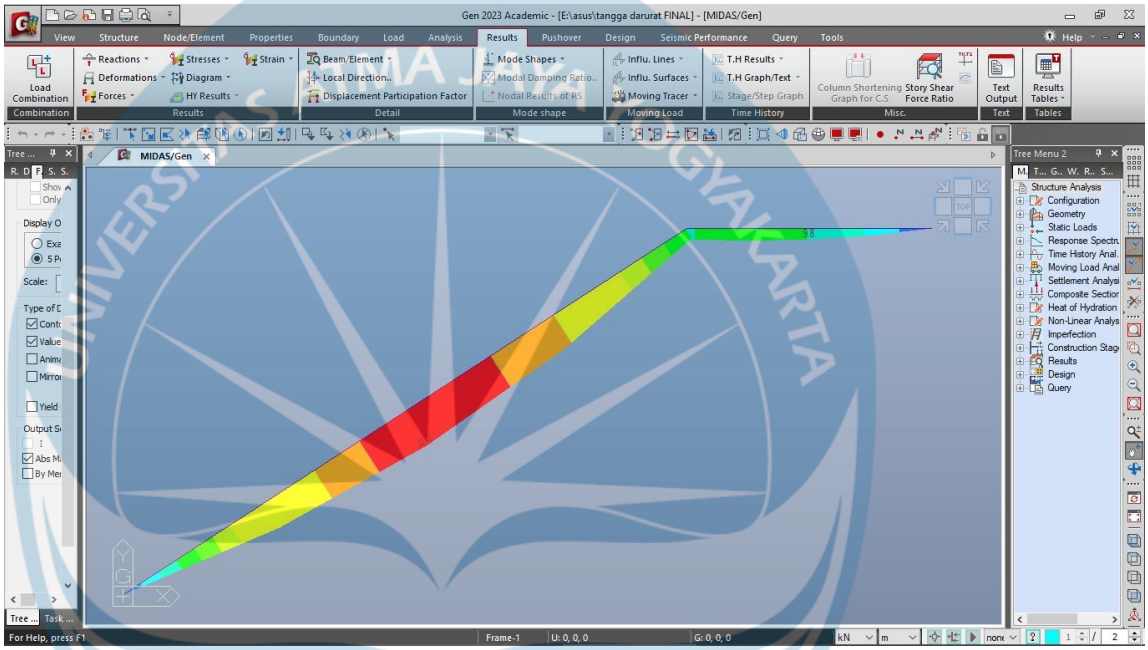
  = 0,13 x 24

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

- Berat ubin dan spesi = 0,005 x berat volume ubin
  = 0,005 x 21
  = 1,05 kN/m ^{2}

Beban Hidup = 4,79 (SNI)

d. Output momen dari Midas



Gambar 2. 13 Hasil analisis momen oleh Midas tangga darurat

Berdasarkan hasil pemebebanan di Midas didapatkan hasil momen dengan menggunakan kombinasi pembebanan 1,2 DL +1,6 LL dan 1,4 DL, dari kombinasi pembebanan tersebut, didapatkan hasil bagian bordes tangga dengan Mur = 32,2 kNm dan Vur =32,7 kNm sehingga dengan menggunakan redistribusi momen didapat momen negatif tumpuan = 16,100 kNm dan momen positif lapangan = 25,760 kNm.

2. Rencana Penulangan Tangga

a. Rencana penulangan tangga tumpuan

Mux = 0,5 Mur = 0,5 x 32,2 = 16,100 kNm

Direncanakan

Tulangan Pokok = D13

Tulangan Susut = P10

Fy Tulangan Pokok = 420 MPa

Fy Tulangan Susut = 280 MPa

F'c = 30 MPa

b = 1000 mm

htg = 130 mm

Selimut Beton = 20 mm

$\beta 1$ = 0,8357

k $= \frac{Mux}{0,9}$ x b x d^2

$= \frac{16,100}{0,9}$ x 1000 x $103,5^2$

= 1,670 Mpa

P $= \frac{0.85\ x\ f'c}{fy}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ k}{0,85\ x\ f'c}}\right]$

$= \frac{0.85\ x\ 30}{420}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2\ x\ 1,670}{0,85\ x\ 30}}\right]$

= 0,00412

As min $= \frac{0,0018\ x\ 420}{fy}$ x Ag

$= \frac{0,0018\ x\ 420}{420}$ x $\frac{130}{420}$

= 234 mm^2

As perlu = p x b x d

= 0,00412 x 10^{-3} x 1000 x 103,5

= 425,9596 mm^2

S $= \frac{0,25\ \pi d^2\ x\ b}{As\ perlu}$

$= \frac{0,25\ \pi\ x\ 13^2\ x\ 1000}{425,9596}$

= 311,61 mm

Digunakan D13-300

Cek Gaya Geser

Vc = 0,17 x $\sqrt{F'c}$ x b x d

Vc = 0,17 x $\sqrt{30}$ x 1000 x 103,5

Vc = 96,37178 kN

Tulangan Susut

As min = 234 mm^2

S $= \frac{0{,}25\ \pi d^2\ x\ b}{As\ min}$

$= \frac{0{,}25\ \pi\ 10^2\ x\ 1000}{234}$

= 335,64 mm

Digunakan tulangan susut P10 – 300

b. Rencana Penulangan Tangga Lapangan

Mux = 0,8 Mur = 0,8 x 32,2 = 25,760 kNm

Direncanakan

Tulangan Pokok	= D13
Tulangan Susut	= P10
Fy Tulangan Pokok	= 420 MPa
Fy Tulangan Susut	= 280 MPa
F'c	= 30 MPa
b	= 1000 mm
htg	= 130 mm
Selimut Beton	= 20 mm
$_{\beta}1$	= 0,8357

ds = 130 – 20 – ($\frac{13}{2}$) = 103,5 mm

k = $\frac{Mux}{0,9}$ x b x d^2

= $\frac{25,760}{0,9}$ x 1000 x $103,5^2$

= 2,672 Mpa

P = $\frac{0.85\ x\ f'c}{fy}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\ x\ k}{0,85\ x\ f'c}}\right]$

= $\frac{0.85\ x\ 30}{420}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\ x\ 2,672}{0,85\ x\ 30}}\right]$

= 0,00674

As min = $\frac{0,0018\ x\ 420}{fy}$ x Ag

= $\frac{0,0018\ x\ 420}{420}$ x $\frac{130}{420}$

= 234 mm^2

As perlu = p x b x d

= 0,00674 x 10^{-3} x 1000 x 103,5

= 697,102 mm^2

S = $\frac{0,25\ \pi d^2\ x\ b}{As\ perlu}$

= $\frac{0,25\ \pi\ x\ 13^2\ x\ 1000}{697,102}$

= 190,41 mm

Digunakan D13-150

Cek Gaya Geser

Vc = 0,17 x $\sqrt{F'c}$ x b x d

Vc = 0,17 x $\sqrt{30}$ x 1000 x 103,5

Vc = 96,37178 kN

Kesimpulan: Dari hasil analisis, digunakan tulangan sebagai berikut:

Penulangan pada tangga dengan tebal pelat 130 mm yaitu tulangan pokok D13 - 300 dan tulangan susut P10 - 300.

2.9 Perencanaan Balok

2.9.1 Perencanaan Balok Induk

Pada perencanaan gedung *Co-Working Lab* ini, akan memperhitungkan satu buah balok dengan momen terbesar (Balok Induk 350 x 500)

Data Perencanaan Balok Induk (350 x 500mm)

Mutu beton	= 30 Mpa
Lebar Balok (b)	= 350 mm
Tinggi Balok (h)	= 500 mm
Bentang Balok (L)	= 6000 mm
Bentang Bersih (Ln)	= 5450 mm
Selimut Beton	= 40 mm
Diameter Tulangan Utama	= 22 mm
Diameter Tulangan Sengkang	= 10 mm
Mutu Tulangan (Fy)	= 420 Mpa
Mutu Beton (Fc)	= 30 Mpa
β	= 0,84
Tegangan Leleh	= 280 Mpa
Diameter Tul Torsi	= 13 mm
Tinggi efektif	= 439 mm

A. Tulangan Longitudinal

a. Tulangan Negatif Tumpuan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu – Tumpuan = 361,5

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{\text{Mu} -}{\phi}$

$= \frac{361,5}{0,9}$

= 401,667 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\text{d} - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0,85 \text{ x } \text{fc}' x\ b}$

$= \frac{439 - \sqrt{439^2} - 2 \mid 401,667\ x\ 10^6 \mid}{0,85 \text{ x } 30\ x\ 350}$

= 118,514 mm

c $= \frac{\text{a}}{\beta 1}$

$= \frac{118,514}{0,84}$

= 141,008 mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{\text{d} - \text{c}}{\text{c}}\ x\ 0,003$

$= \frac{439 - 141,008}{141,008}\ x\ 0,003$

= 0,0063

Karena εs ≥ 0,005 maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

As.req $= \frac{0,85 \text{ x } \text{fc}' x\ a\ x\ b}{\text{fy}}$

$= \frac{0,85 \text{ x } 30\ x\ 118,51\ x\ 350}{420}$

= 2518,423 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

$$n = \frac{As.req}{0{,}25 \times \pi \times D^2}$$

$$= \frac{2518{,}423}{0{,}25 \times \pi \times 439^2}$$

$$= 7 \text{ buah}$$

$$As._{use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4}$$

$$= \frac{7 \times \pi \times 22^2}{4}$$

$$= 2660{,}93 \text{ mm}^2$$

$$As._{min1} = \frac{0{,}25 \times \sqrt{fc'}}{fy} \times b_w \times d$$

$$= \frac{0{,}25 \times \sqrt{30}}{420} \times 400 \times 739$$

$$= 963{,}731 \text{mm}^2$$

$$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1{,}4}{420} \times 400 \times 739$$

$$= 985{,}333 \text{ mm}^2$$

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar 985,333 mm^2

$As._{use} \geq As._{min}$ = 1900,66 $mm^2 \geq$ 985,333 mm^2 (OK)

$$As._{max} = \frac{0{,}36 \times \beta \times fc' \times b \times d}{fy}$$

$$= \frac{0{,}36 \times 0{,}84 \times 30 \times 400 \times 739}{420}$$

$$= 6384{,}96 \text{ mm}^2$$

$As._{use} \geq As._{max}$ = 1900,66 $mm^2 \leq$ 6384,96 mm^2 (OK)

6) Cek spasi tulangan

$S_1 = \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{400-(2 \text{ x } 40)-(2x\ 10)-(4 \text{ x } 22)}{5-1}$

= 47,5 mm

$S_{1\ min}$ = 25 mm

S_{max} = 280 mm

S > Smin = 54 mm > 25 mm (OK)

$S_{use} = \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{400-(2 \text{ x } 40)-(2x\ 10)-(4 \text{ x } 22)}{5-1}$

= 54 mm

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

7) Kekuatan nominal, Mn

a $= \frac{As\ fy}{0{,}85 \text{ x } f'c \text{ x } b}$

$= \frac{1520{,}53 \text{ x } 420}{0{,}85 \text{ x } 30 \text{ x } 400}$

= 62,6101 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{62{,}6101}{0{,}84}$

=74,5358 mm

Mn $= As\ fy\ (d - \frac{a}{2})$

$= 1520{,}53\ (739 - \frac{62{,}6101}{2})$

= 451949989 Nmm

= 451,949989 kNm

ØMn = 0,9 x Mn

= 0,9 x 451,949989

= 406,75499 kNm

b. Tulangan Positif Tumpuan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu + Tumpuan = 0

$= \frac{1}{2} x$ Mu tumpuan

$= \frac{1}{2} x$ 462

= 231

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{\text{Mu} -}{\phi}$

$= \frac{231}{0,9}$

= 256,667 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\text{d} - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0,85 \text{ x fc}' x\ b}$

$= \frac{739 - \sqrt{739^2} - 2 \mid 256,667\ x\ 10^6 \mid}{0,85 \text{ x } 30\ x\ 400}$

= 34,8753 mm

c $= \frac{\text{a}}{\beta 1}$

$= \frac{34,8753}{0,84}$

= 41,516 mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{\text{d} - \text{c}}{\text{c}}\ x\ 0,003$

$= \frac{739 - 41,516}{41,516}\ x\ 0,003$

= 0,0504

Karena $\varepsilon s \geq 0,005$ maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

$As._{req} = \frac{0{,}85 \text{ x } fc' \, x \, a \, x \, b}{fy}$

$= \frac{0{,}85 \text{ x } 30 \, x \, 34{,}8735 \, x \, 400}{420}$

$= 846{,}928 \text{ mm}^2$

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

$n = \frac{As.req}{0{,}25 \text{ x } \pi \, x \, D^2}$

$= \frac{846{,}928}{0{,}25 \text{ x } \pi \, x \, 739^2}$

$= 3$ buah

$As._{use} = \frac{n \text{ x } \pi \, x \, D^2}{4}$

$= \frac{3 \text{ x } \pi \, x \, 22^2}{4}$

$= 1140{,}4 \text{ mm}^2$

$As._{min1} = \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{f c'}}{fy} \, x \, b_w \, x \, d$

$= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{30}}{420} \, x \, 350 \, x \, 439$

$= 500{,}938 \text{ mm}^2$

$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy} \, x \, b_w \, x \, d$

$= \frac{1{,}4}{420} \, x \, 350 \, x \, 439$

$= 512{,}1667 \text{ mm}^2$

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar $512{,}1667 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{min}$ = $1520{,}53 \text{ mm}^2 \geq 512{,}1667 \text{ mm}^2$ (OK)

$As._{max} = \frac{0{,}36 \text{ x } \beta \text{ x } fc' \text{x b x d}}{fy}$

$$= \frac{0{,}36 \text{ x } 0{,}84 \text{ x } 30\text{x } 350 \text{ x } 439}{420}$$

$$= 3318{,}84 \text{ mm}^2$$

$As._{use} \geq As._{max}$ $= 1520{,}53 \text{ mm}^2 \leq 3318{,}84 \text{ mm}^2$ (OK)

6) Cek spasi tulangan

$$S_1 = \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2\text{x D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$$

$$= \frac{350-(2 \text{ x } 40)-(2\text{x } 10)-(4 \text{ x } 22)}{4-1}$$

$$= 54 \text{ mm}$$

S > Smin = 54 mm > 25 mm (OK)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

7) Kekuatan nominal, Mn

a $$= \frac{As \text{ } fy}{0{,}85 \text{ x } f'c \text{ x } b}$$

$$= \frac{3041{,}06 \text{ x } 420}{0{,}85 \text{ x } 30 \text{ x } 350}$$

$$= 143{,}109 \text{ mm}$$

c $$= \frac{a}{\beta 1}$$

$$= \frac{143{,}109}{0{,}84}$$

$$= 170{,}368 \text{ mm}$$

Mn $= As \text{ } fy \text{ } (d - \frac{a}{2})$

$$= 3041{,}06 \text{ } (439 - \frac{143{,}109}{2})$$

$$= 469318398{,}8 \text{ Nmm}$$

$$= 469{,}318 \text{ kNm}$$

ØMn $= 0{,}9 \text{ x } Mn$

$$= 0{,}9 \text{ x } 469{,}318$$

$$= 422{,}387 \text{ kNm}$$

c. Tulangan Negatif Lapangan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu - Lapangan = 0 (didapat dari midas)

Mu - Lapangan yang digunakan $= \frac{1}{4}\ x\ Mu\ Tumpuan -$

$= \frac{1}{4}\ x\ 361{,}5$

= 90,375

Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{\text{Mu} -}{\phi}$

$= \frac{90{,}375}{0{,}9}$

= 100,417 kNm

Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\text{d} - \sqrt{d^2} - 2\ |\ Mn.req|}{0{,}85\ \text{x}\ \text{fc}'\ x\ b}$

$= \frac{439 - \sqrt{439^2} - 2\ |\ 100{,}417\ x\ 10^6|}{0{,}85\ \text{x}\ 30\ x\ 350}$

= 26,424 mm

c $= \frac{\text{a}}{\beta 1}$

$= \frac{26{,}424}{0{,}84}$

= 31,457 mm

Cek regangan tulangan

εs $= \frac{\text{d} - \text{c}}{\text{c}}\ x\ 0{,}003$

$= \frac{439 - 31{,}457}{31{,}457}\ x\ 0{,}003$

= 0,0389

Karena εs $\geq$ 0,005 maka direncanakan terkendali tarik

Menghitung kebutuhan tulangan

As.req $= \frac{0{,}85\ \text{x}\ \text{fc}'\ x\ a\ x\ b}{\text{fy}}$

$= \frac{0{,}85\ \text{x}\ 30\ x\ 26{,}424\ x\ 350}{420}$

= 561,51 mm2

Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{\text{As.req}}{0{,}25 \text{ x } \pi \text{ x } D^2}$

$= \frac{561{,}51}{0{,}25 \text{ x } \pi \text{ x } 439^2}$

= 2 buah

As.use $= \frac{\text{n x } \pi \text{ x } D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi \text{ x } 22^2}{4}$

= 760,265 mm2

As.min1 $= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{fc'}}{\text{fy}} \text{ x bw } x \ d$

$= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{30}}{420} \ x \ 350 \ x \ 439$

= 500,938 mm2

As.min2 $= \frac{1{,}4}{\text{fy}} x \text{ bw } x \ d$

$= \frac{1{,}4}{420} x \ 350 \ x \ 439$

= 512,1667 mm2

As.min = As.min diambil yang terbesar 512,1667 mm2

As.use ≥ As.min = 760,265 mm2 ≥ 512,1667 mm2 (OK)

As.max $= \frac{0{,}36 \text{ x } \beta \text{ x } fc' \text{x b x d}}{\text{fy}}$

$= \frac{0{,}36 \text{ x } 0{,}84 \text{ x } 30\text{x } 350 \text{ x } 439}{420}$

= 3318,84 mm2

As.use ≥ As.max = 760,265 mm2 ≤ 3318,84 mm2 (OK)

Cek spasi tulangan

S1 $= \frac{\text{b}-(2 \text{ x selimut beton})-(2\text{x D sengkang})-(\text{n x D tul utama})}{\text{n}-1}$

$= \frac{350-(2 \text{ x } 40)-(2\text{x } 10)-(2 \text{ x } 22)}{2-1}$

= 206 mm

S > Smin = 206 mm > 25 mm (OK)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Tulangan Negatif Lapangan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu + Lapangan = 134,6

Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{\text{Mu} -}{\phi}$

$= \frac{134,6}{0,9}$

= 149,556 kNm

Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\text{d} - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0,85 \text{ x } \text{fc}' x\ b}$

$= \frac{439 - \sqrt{439^2} - 2 \mid 149,556\ x\ 10^6 \mid}{0,85 \text{ x } 30\ x\ 350}$

= 39,992 mm

c $= \frac{\text{a}}{\beta 1}$

$= \frac{39,992}{0,84}$

= 47,61 mm

Cek regangan tulangan

εs $= \frac{\text{d} - \text{c}}{\text{c}}\ x\ 0,003$

$= \frac{439 - 47,61}{47,61}\ x\ 0,003$

= 0,0247

Karena εs ≥ 0,005 maka direncanakan terkendali tarik

Menghitung kebutuhan tulangan

As.req $= \frac{0,85 \text{ x } \text{fc}' x\ a\ x\ b}{\text{fy}}$

$= \frac{0,85 \text{ x } 30\ x\ 39,992\ x\ 350}{420}$

= 849,83 mm2

Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{\text{As.req}}{0{,}25 \text{ x } \pi \text{ x } D^2}$

$= \frac{849{,}83}{0{,}25 \text{ x } \pi \text{ x } 439^2}$

= 3 buah

As.use $= \frac{\text{n x } \pi \text{ x } D^2}{4}$

$= \frac{3 \text{ x } \pi \text{ x } 22^2}{4}$

= 1140,4 mm2

As.min1 $= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{fc'}}{\text{fy}} \text{ x bw x } d$

$= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{30}}{420} \text{ x } 350 \text{ x } 439$

= 500,938 mm2

As.min2 $= \frac{1{,}4}{\text{fy}} \text{ x bw x } d$

$= \frac{1{,}4}{420} \text{ x } 350 \text{ x } 439$

= 512,1667 mm2

As.min = As.min diambil yang terbesar 512,1667 mm2

As.use ≥ As.min = 1140,4 mm2 ≥ 512,1667 mm2 (OK)

As.max $= \frac{0{,}36 \text{ x } \beta \text{ x fc}' \text{x b x d}}{\text{fy}}$

$= \frac{0{,}36 \text{ x } 0{,}84 \text{ x } 30\text{x } 350 \text{ x } 439}{420}$

= 3318,84 mm2

As.use ≥ As.max = 1140,4 mm2 ≤ 3318,84 mm2 (OK)

Cek spasi tulangan

S1 $= \frac{\text{b}-(2 \text{ x selimut beton})-(2\text{x D sengkang})-(\text{n x D tul utama})}{\text{n}-1}$

$= \frac{350-(2 \text{ x } 40)-(2\text{x } 10)-(3 \text{ x } 22)}{3-1}$

= 92 mm

S > Smin = 92 mm > 25 mm (OK)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

B. Tulangan Torsi

Tu hasil analisis midas = 26 kNm

Vu hasil analisis midas = 207,6 kN

Acp = b x h

= 350 x 500

= 175000

Pcp = 2 x (b + h)

= 2 x (350 + 500)

= 1700

ΦT th $= \frac{0{,}75\ x\ 0{,}083\ x\ 1\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ Acp^2}{Pcp}$

$= \frac{0{,}75\ x\ 0{,}083\ x\ 1\ x\ \sqrt{30}x\ 175000^2}{1700}$

= 6,142 kNm

x_1 $= \frac{b - 2\ x\ (selimut\ beton + diameter\ tulangan\ sengkang)}{2}$

$= \frac{350 - 2\ x\ (40 + 10)}{2}$

= 260 mm

y_1 $= \frac{h - 2\ x\ (selimut\ beton + diameter\ tulangan\ sengkang)}{2}$

$= \frac{500 - 2\ x\ (40 + 10)}{2}$

= 410 mm

Aoh = x_1 x y_1

= 260 x 410

= 106600 mm^2

Ao = 0,85 x Aoh

= 0,85 x 106600

= 90610 mm^2

Ph = 2 x (x_1 + y_1)

= 2 x (260 + 410)

= 1340 mm

Vc = 0,17 x 1 x $\sqrt{f'c}$ x b x d

= 0,17 x 1 x $\sqrt{30}$ x 350 x 439

= 143067,8706 N

Batasan 1 $= \frac{\sqrt{Vu\ x\ 1000}}{\text{b x } d^2} + \left(\frac{\text{Tu x } 10^{\,6} \text{x Ph}}{(1{,}7 \text{ x } Aoh^2)^2}\right)$

$= \frac{\sqrt{186{,}9\ x\ 1000}}{350 \text{ x } 439^2} + \left(\frac{26 \text{ x } 10^{\,6} \text{x } 1340}{(1{,}7 \text{ x } 106600^2)^2}\right)$

= 2,253 N/mm^2

Batasan 2 $= 0{,}75 \frac{Vc\ x\ 1000}{(\text{b x d}) + 0{,}66 \text{ x } \sqrt{f'c}}$

$= 0{,}75 \frac{143{,}0679\ x\ 1000}{(350 \text{ x } 439) + 0{,}66 \text{ x } \sqrt{30}}$

= 3,41 N/mm^2

Tn $= \frac{Tu\ x\ 10^6}{0{,}75}$

$= \frac{26\ x\ 10^6}{0{,}75}$

= 34666666,67 Nmm

ϴ = 45^o

$\frac{\text{At}}{s}$ $= \frac{\text{Tn}}{2\ x\ Ao\ x\ fyt\ x\ COT(RADIANS(45)}$

$= \frac{34666666{,}67}{2\ x\ 90610\ x\ 280\ x\ COT(RADIANS(45)}$

= 0,683 mm^2/mm

Tulangan Torsi Transversal Tumpuan

ØVs $= Vu - (0{,}75\ x\ Vc)$

$= 207{,}6 - (0{,}75\ x\ 143{,}0679)$

= 100,299 kN

Vs $= \frac{\text{ØVs}}{0,75}$

$= \frac{100,299}{0,75}$

= 133,732 kN

$\frac{\text{Av}}{s}$ $= \frac{Vs\ x\ 1000}{fyt\ x\ d}$

$= \frac{133,732\ x\ 1000}{280\ x\ 439}$

= 1,08796 mm^2/mm

$\frac{\text{Ask}}{s}$ req $= \frac{\text{At}}{s} + \frac{\text{Av}}{s}$

= 0,683 + 1,08796

= 2,454 mm^2/mm

Ask.use $= \frac{1\ x\ \pi\ diameter\ tul\ sengklang^2}{4}$

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

= 78,54

s $= 2\ x\ \frac{Ask.use}{\frac{Ask}{s}req}$

$= 2\ x\ \frac{78,54}{2,454}$

= 64,01 mm

s max $= \frac{Ph}{8}$

$= \frac{1340}{8}$

= 167,5 mm

s pakai = 60 mm

As min1 $= \frac{0,062\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ b\ x\ s\ use}{fyt}$

$= \frac{0,062\ x\ \sqrt{30}\ x\ 350\ x\ 60}{280}$

= 21,224 mm^2

As min 2 $= \frac{0{,}35\ x\ b\ x\ S\ use}{fyt}$

$= \frac{0{,}35\ x\ 350\ x\ 60}{280}$

= 26,25 mm^2

Al $= \frac{\frac{At}{s}\ x\ Ph\ \ x\ \theta\ x\ fyt}{fy\ x\ COT(RADIANS(\theta)^2}$

$= \frac{0{,}683\ x\ 1340\ \ x\ 45\ x\ 280}{420\ x\ COT(RADIANS(45)^2}$

= 610,14667 mm^2

Al min $= \frac{0{,}42\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ Acp}{fy - \frac{At}{s}\ x\ Ph\ x\ \frac{fyt}{fy}}$

$= \frac{0{,}42\ x\ \sqrt{30}\ x\ 175000}{420 - 0{,}683\ x\ 1340\ x\ \frac{280}{420}}$

= 348,36781 mm^2

As use = *dipilih yang paling besar dari AI dan AI min*

= 610,14667 mm^2

Tulangan Torsi Longitudinal Tumpuan

Sisi Atas $= As._{req} + \frac{AI}{4}$

$= 2518{,}423 + \frac{610{,}14667}{4}$

= 2670,95967 mm^2

n terpasang $= \frac{\text{sisi atas}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{2670{,}95967}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 22^2}$

= 7,02639

= 8

Sisi Bawah $= As._{req} + \frac{AI}{4}$

$= 1161{,}548 + \frac{610{,}14667}{4}$

= 1314,0847 mm^2

n terpasang $= \frac{\text{sisi bawah}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{1314{,}0847}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 22^2}$

$= 3{,}45691$

$= 4$

Torsi $= \frac{\text{Al use}}{2}$

$= \frac{610{,}14667}{2}$

$= 305{,}0733\ mm^2$

n terpasang $= \frac{\text{Torsi}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{305{,}0733}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 13^2}$

$= 2{,}29841$

$= 4$

Maka didapatkan tulangan sebagi berikut :

Tulangan atas = 8D-22

Tulangan bawah = 4D-22

Torsi = 4D-13

C. Tulangan Traansversal

Data Perencanaan Balok Induk (350 x 500mm)

Tabel 2. 12 Tulangan Longitudinal Balok Indok (350 x 500mm)

	Kiri	Kanan
Atas	8	8
Bawah	4	4

a. Tumpuan

1) Momen ujung tumpuan negatif (MPr_1)

Tulangan atas = 8D22

As use $= \frac{\text{n x } \pi x D^2}{4}$

$= \frac{8 \text{ x } \pi x 22^2}{4}$

$= 3041{,}0617 \text{ mm}^2$

Apr $= \frac{\text{As x } 1{,}25 \text{ x fy}}{0{,}85\text{x Fc}'\text{x b}}$

$= \frac{3041{,}0617 \text{ x } 1{,}25 \text{ x } 420}{0{,}85\text{x } 30\text{x } 350}$

$= 178{,}886 \text{ mm}$

Mpr_1 $= \text{As x } 1{,}25 \text{ x fy } (d - \frac{apr}{2})$

$= 3041{,}0617 \text{ x } 1{,}25 \text{ x } 420 \ (439 - \frac{178{,}886}{2})$

$= 516{,}577 \text{ kNm}$

2) Momen ujung tumpuan positif (MPr_2)

Tulangan atas = 8D22

As use $= \frac{\text{n x } \pi x D^2}{4}$

$= \frac{4 \text{ x } \pi x 22^2}{4}$

$= 1520{,}5308 \text{ mm}^2$

Apr $= \frac{\text{As x } 1{,}25 \text{ x fy}}{0{,}85\text{x Fc}'\text{x b}}$

$= \frac{1520{,}5308 \text{ x } 1{,}25 \text{ x } 420}{0{,}85\text{x } 30\text{x } 350}$

$= 89{,}443 \text{ mm}$

Mpr_2 $= \text{As x } 1{,}25 \text{ x fy } (d - \frac{apr}{2})$

$= 1520{,}5308 \text{ x } 1{,}25 \text{ x } 420 \ (439 - \frac{89{,}443}{2})$

$= 293{,}989 \text{ kNm}$

3) Gaya geser gempa akibat sendi plastis

Ve $= \frac{Mpr1+Mpr2}{Ln}$

$$= \frac{516{,}577 + 293{,}989}{5450/1000}$$

= 148,728 Kn

4) Gaya geser akibat beban gravitasi

(Tumpuan -)

Vg = 126,2 kN

(Tumpuan +)

Vg = 122,1 kN

5) Gaya geser desain

(Tumpuan -)

Ve1 gempa kiri = Vg – Ve1

= 126,2 - 148,728

= - 22,528 kN

Ve1 gempa kanan = Vg + Ve1

= 126,2 + 148,728

= 274,928 kN

(Tumpuan +)

Ve1 gempa kiri = Vg + Ve1

= 122,1 + 148,728

= 270,828 kN

Ve1 gempa kanan = Vg - Ve1

= 122,1 – 148,728

= - 26,628 kN

6) Tulangan geser

Tumpuan -

Gaya geser akibat gempa :

Vs = 274,928 kN

Vs maks $= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d tulangan transversal}}{1000}$

$= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 400 \text{ x } 739}{1000}$

= 522,544 kN

Direncanakan diameter 10 mm

As $= 2\frac{1}{4}$ x π x D^2

$= 2\frac{1}{4}$ x π x 10^2

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

Tumpuan +

Gaya geser akibat gempa :

Vs = 270,828 kN

Vs maks $= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d tulangan transversal}}{1000}$

$= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 400 \text{ x } 739}{1000}$

= 522,544 kN

Direncanakan diameter 10 mm

As $= 2\frac{1}{4}$ x π x D^2

$= 2\frac{1}{4}$ x π x 10^2

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

7) Cek spasi :

Tumpuan -

S $= \frac{As \text{ x fyt x d tulangan transversal}}{\text{Vs x } 1000}$

$= \frac{157{,}08 \text{ x } 280 \text{ x } 739}{274{,}928 \text{ x } 1000}$

= 66,071 mm

S maks = 6 x diameter tulangan utama

= 6 x 22

= 132 mm

Maka, batas spasi maksimum = 66,071 mm

S < S max = 66,071 mm < 132 mm (OK)

Dipasang 2D10-50

Tumpuan +

S $= \frac{As \text{ x fyt x d tulangan transversal}}{\text{Vs x } 1000}$

$= \frac{157{,}08 \text{ x } 280 \text{ x } 739}{270{,}828 \text{ x } 1000}$

= 67,071 mm

S maks = 6 x diameter tulangan utama

= 6 x 22

= 132 mm

Maka, batas spasi maksimum = 67,071 mm

S < S max = 67,071 mm < 132 mm (OK)

Dipasang 2D10-50

b. Lapangan

Ve1 gempa kiri $= \frac{\text{Ln} - 2 \text{ x h}}{\text{Ln}}$ x (Ve gempa kiri tumpuan positif – ve tumpuan negative) + ve tumpuan negative

$= \frac{5450 - 2 \text{ x } 500}{5450}$ x (270,828 – 22,528) + 22,528

= 225 ,2684 kN

Ve1 gempa kanan $= \frac{\text{Ln} - 2 \text{ x h}}{\text{Ln}}$ x (Ve gempa kanan tumpuan positif – ve tumpuan negative) + ve tumpuan negative

$= \frac{5450 - 2 \text{ x } 500}{5450}$ x (274,928 – 26,628) + 26,628

= 229,3684 kN

Ve = 229,3684 kN (diambil nilai yang terbesar dari hasil Ve gempa)

Vc $= 0{,}17 \text{ x } 1 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d}}{1000}$

$= 0{,}17 \text{ x } 1 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 350 \text{ x } 439}{1000}$

= 143,0679 kN

ØVc = 0,75 x Vc

= 0,75 x 143,0679

= 107,301

Vs $= \frac{Ve\ Lapangan}{\emptyset}$ - Vc

$= \frac{229{,}3684}{0{,}75}$ – 143,0679

= 162,757 kN

Dipasang sengkang 2 kaki diameter 10

Av $= \frac{1}{4}$ x π x tulangan tumpuan x diameter tumpuan^2

$= \frac{1}{4}$ x π x 2 x 10^2

= 157,08

S $= \frac{\text{Av x fyt x d}}{\text{Vs}}$

$= \frac{157{,}08 \text{ x } 280 \text{ x } d439}{162{,}757 \text{ x } 1000}$

= 118,633 mm

S max $= \frac{d}{2}$

$= \frac{439}{2}$

= 219,5 mm

S < S max = 118,633 mm < 219,5 mm (OK)

Maka dipasang Sengkang lapangan 2D10-100

Pada perencanaan gedung *Co-Working Lab* ini, akan memperhitungkan satu buah balok dengan momen terbesar (Balok Induk 400 x 800)

Data Perencanaan Balok Induk (400 x 800mm)

Mutu beton = 30 Mpa

Lebar Balok (b) = 400 mm

Tinggi Balok (h) = 800 mm

Bentang Balok (L) = 6000 mm

Bentang Bersih (Ln) = 5450 mm

Selimut Beton = 40 mm

Diameter Tulangan Utama = 22 mm

Diameter Tulangan Sengkang = 10 mm

Mutu Tulangan (Fy) = 420 Mpa

Mutu Beton (Fc) = 30 Mpa

β = 0,84

Tegangan Leleh = 280 Mpa

Diameter Tul Torsi = 13 mm

Tinggi efektif = 739 mm

A. Tulangan Longitudinal

a. Tulangan Negatif Tumpuan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu – Tumpuan = 462 kNm

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{\text{Mu} -}{\phi}$

$= \frac{462}{0,9}$

= 513,333 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\text{d} - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0,85 \text{ x } \text{fc}' x\ b}$

$= \frac{739 - \sqrt{739^2} - 2 \mid 513,333\ x\ 10^6 \mid}{0,85 \text{ x } 30\ x\ 400}$

= 71,567 mm

c $= \frac{\text{a}}{\beta 1}$

$= \frac{71,567}{0,84}$

= 85,199 mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{\text{d} - \text{c}}{\text{c}}\ x\ 0,003$

$= \frac{739 - 85,199}{0,0125}\ x\ 0,003$

= 0,0063

Karena $\varepsilon s \geq 0{,}005$ maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

As.req $= \frac{0{,}85 \text{ x } fc' \, x \, a \, x \, b}{fy}$

$= \frac{0{,}85 \text{ x } 30 \, x \, 71{,}567 \, x \, 400}{420}$

= 1738,056 mm2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{As.req}{0{,}25 \text{ x } \pi \, x \, D^2}$

$= \frac{1738{,}056}{0{,}25 \text{ x } \pi \, x \, 739^2}$

= 5 buah

$As._{use}$ $= \frac{n \text{ x } \pi \, x \, D^2}{4}$

$= \frac{5 \text{ x } \pi \, x \, 22^2}{4}$

= 1900,66 mm^2

$As._{min1}$ $= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{fc'}}{fy} \, x \, b_w \, x \, d$

$= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{30}}{420} \, x \, 350 \, x \, 439$

= 500,938 mm^2

$As._{min2}$ $= \frac{1{,}4}{fy} \, x \, b_w \, x \, d$

$= \frac{1{,}4}{420} \, x \, 350 \, x \, 439$

= 512,1667 mm^2

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar 512,1667 mm^2

$As._{use} \geq As._{min}$ = 2660,93 $mm^2 \geq$ 512,1667 mm^2 (OK)

$As._{max} = \frac{0{,}36 \text{ x } \beta \text{ x } fc' \text{x b x d}}{fy}$

$= \frac{0{,}36 \text{ x } 0{,}84 \text{ x } 30\text{x } 350 \text{ x } 439}{420}$

$= 3318{,}84 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{max}$ $= 2660{,}93 \text{ mm}^2 \leq 3318{,}84 \text{ mm}^2$ (OK)

6) Cek spasi tulangan

$S_1 = \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2\text{x D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{350-(2 \text{ x } 40)-(2\text{x } 10)-(4 \text{ x } 22)}{7-1}$

$= 16$ mm

$S_{1\ min} = 25$ mm

$S_{max} = 280$ mm

S > Smin = 54 mm > 25 mm (OK)

$S_{use} = \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2\text{x D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{350-(2 \text{ x } 40)-(2\text{x } 10)-(4 \text{ x } 22)}{4-1}$

$= 54$ mm

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

7) Kekuatan nominal, Mn

a $= \frac{As\ fy}{0{,}85 \text{ x } f'c \text{ x b}}$

$= \frac{1520{,}53 \text{ x } 420}{0{,}85 \text{ x } 30 \text{ x } 350}$

$= 71{,}5544$ mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{71,5544}{0,84}$

= 85,1838 mm

Mn q $= As\ fy\ (d - \frac{a}{2})$

$= 1520,53\ (439 - \frac{71,5544}{2})$

= 257507338,2 Nmm

= 257,507 kNm

ØMn = 0,9 x Mn

= 0,9 x 257,507

= 231,757 kNm

b. Tulangan Negatif Tumpuan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu + Tumpuan = 0

$= \frac{1}{2}\ x$ Mu tumpuan −

$= \frac{1}{2}\ x\ 462$

= 231

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{\text{Mu -}}{\phi}$

$= \frac{231}{0,9}$

= 256,667 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{d - \sqrt{d^2} - 2\ |\ Mn.req|}{0,85\ x\ fc'\ x\ b}$

$= \frac{739 - \sqrt{739^2} - 2\ |\ 256,667\ x\ 10^6|}{0,85\ x\ 30\ x\ 400}$

= 34,8735 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{34,8735}{0,84}$

= 41,516 mm

3) Cek regangan tulangan

$\varepsilon s = \frac{d-c}{c}\ x\ 0{,}003$

$= \frac{739 - 41{,}516}{41{,}516}\ x\ 0{,}003$

= 0,0504

Karena $\varepsilon s \geq 0{,}005$ maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

$As._{req} = \frac{0{,}85 \text{ x } fc' x\ a\ x\ b}{fy}$

$= \frac{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 34{,}8735\ \ x\ 400}{420}$

= 846,928 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

$n = \frac{As.req}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ D^2}$

$= \frac{846{,}928}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ 739^2}$

= 3 buah

$As._{use} = \frac{n \text{ x } \pi\ x\ D^2}{4}$

$= \frac{3 \text{ x } \pi\ x\ 22^2}{4}$

= 1140,4 mm^2

$As._{min1} = \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{fc'}}{fy}\ x\ b_w\ x\ d$

$= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{30}}{420}\ x\ 400\ x\ 739$

= 963,731 mm^2

$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy}\ x\ b_w\ x\ d$

$= \frac{1{,}4}{420}\ x\ 400\ x\ 739$

= 985,333 mm^2

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar 985,333 mm^2

$As._{use} \geq As._{min}$ = 1140,4 $mm^2 \geq$ 985,333 mm^2 (OK)

$As._{max}$ = $\frac{0,36 \text{ x } \beta \text{ x } fc' \text{x b x d}}{fy}$

= $\frac{0,36 \text{ x } 0,84 \text{ x } 30\text{x } 400 \text{ x } 739}{420}$

= 6384,96 mm^2

$As._{use} \geq As._{max}$ = 1140,4 $mm^2 \leq$ 6384,96 mm^2 (OK)

6) Cek spasi tulangan

S_1 = $\frac{\text{b}-(2 \text{ x selimut beton})-(2\text{x D sengkang})-(\text{n x D tul utama})}{\text{n}-1}$

= $\frac{400-(2 \text{ x } 40)-(2\text{x } 10)-(4 \text{ x } 22)}{2-1}$

= 47,5 mm

S > Smin = 47,5 mm > 25 mm (OK)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

7) Kekuatan nominal, Mn

a = $\frac{\text{As fy}}{0,85 \text{ x } f'c \text{ x b}}$

= $\frac{2280,7963 \text{ x } 420}{0,85 \text{ x } 30 \text{ x } 400}$

= 93,91514 mm

c = $\frac{\text{a}}{\beta 1}$

= $\frac{93,91514}{0,84}$

= 111,8037 mm

Mn = $As\ fy\ (d - \frac{\text{a}}{2})$

= 2280,7963 x 420 x $(739 - \frac{93,91514}{2})$

= 662931281,8 Nmm

= 662,9312818 kNm

ØMn = 0,9 x Mn

= 0,9 x 662,9312818

= 596,6382 kNm

c. Tulangan Negatif Lapangan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu - Lapangan = 0 (didapat dari midas)

Mu - Lapangan yang digunakan = $\frac{1}{4}$ x $Mu\ Tumpuan -$

= $\frac{1}{4}$ x 462

= 115,5 kNm

1) Menghitung momen nominal

Mn = $\frac{\text{Mu} -}{\phi}$

= $\frac{115,5}{0,9}$

= 128,333 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a = $\frac{\text{d} - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0,85 \text{ x fc}' x\ b}$

= $\frac{739 - \sqrt{739^2} - 2 \mid 128,333\ x\ 10^6 \mid}{0,85 \text{ x } 30\ x\ 400}$

= 17,226 mm

c = $\frac{\text{a}}{\beta 1}$

= $\frac{17,226}{0,84}$

= 20,507 mm

3) Cek regangan tulangan

εs = $\frac{\text{d} - \text{c}}{\text{c}}$ x 0,003

= $\frac{739 - 20,507}{20,507}$ x 0,003

= 0,1051

Karena $\varepsilon s \geq 0{,}005$ maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

As.req $= \frac{0{,}85 \text{ x } fc' \, x \, a \, x \, b}{fy}$

$= \frac{0{,}85 \text{ x } 30 \, x \, 17{,}226 \, x \, 400}{420}$

$= 418{,}346 \text{ mm}^2$

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{As.req}{0{,}25 \text{ x } \pi \, x \, D^2}$

$= \frac{418{,}346}{0{,}25 \text{ x } \pi \, x \, 739^2}$

$= 2$ buah

As.use $= \frac{n \text{ x } \pi \, x \, D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi \, x \, 22^2}{4}$

$= 760{,}265 \text{ mm}^2$

As.min1 $= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{fc'}}{fy} \, x \text{ bw } x \, d$

$= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{30}}{420} \, x \, 400 \, x \, 739$

$= 963{,}731 \text{ mm}^2$

As.min2 `$= \frac{1{,}4}{fy} \, x \text{ bw } x \, d$

$= \frac{1{,}4}{420} \, x \, 400 \, x \, 739$

$= 985{,}333 \text{ mm}^2$

As.min = As.min diambil yang terbesar $985{,}333 \text{ mm}^2$

As.use ≥ As.min = 760,265 mm^2 ≤ 985,333 mm^2 (NO)

As.max $= \frac{0{,}36 \text{ x } \beta \text{ x } fc' \text{ x } b \text{ x } d}{fy}$

$= \frac{0{,}36 \text{ x } 0{,}84 \text{ x } 30 \text{x } 400 \text{ x } 739}{420}$

= 6384,96 mm^2

As.use ≥ As.max = 760,265 mm^2 ≤ 6384,96 mm^2 (NO)

6) Cek spasi tulangan

S_1 $= \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{400-(2 \text{ x } 40)-(2x \text{ } 10)-(2 \text{ x } 22)}{2-1}$

= 256 mm

S > Smin = 256 mm > 25 mm (OK)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Tulangan Negatif Lapangan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu + Lapangan = 200,7 (didapatkan dari hasil midas)

Mu + Lapangan yang digunakan $= \frac{1}{4} \; x \; Mu \; Tumpuan -$

$= \frac{1}{4} \; x \; 462$

= 115,5 kNm

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{Mu -}{\phi}$

$= \frac{200{,}7}{0{,}9}$

= 200 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\mathrm{d} - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0{,}85 \text{ x } \mathrm{fc}' x\ b}$

$= \frac{739 - \sqrt{739^2} - 2 \mid 200\ x\ 10^6 \mid}{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 400}$

= 30,201 mm

c $= \frac{\mathrm{a}}{\beta 1}$

$= \frac{30{,}201}{0{,}84}$

= 35,954 mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{\mathrm{d} - \mathrm{c}}{\mathrm{c}}\ x\ 0{,}003$

$= \frac{739 - 35{,}954}{35{,}954}\ x\ 0{,}003$

= 0,0587

Karena εs ≥ 0,005 maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

As.req $= \frac{0{,}85 \text{ x } \mathrm{fc}' x\ a\ x\ b}{\mathrm{fy}}$

$= \frac{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 30{,}201\ \ x\ 400}{420}$

= 641,771 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{\mathrm{As.req}}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ D^2}$

$= \frac{641{,}771}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ 739^2}$

= 2 buah

As.use $= \frac{\mathrm{n} \text{ x } \pi\ x\ D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi\ x\ 22^2}{4}$

= 760,265 mm^2

As.min1 = $\frac{0,25 \text{ x } \sqrt{fc'}}{fy} \; x \text{ bw } x \; d$

= $\frac{0,25 \text{ x } \sqrt{30}}{420} \; x \; 400 \; x \; 739$

= 963,731 mm^2

As.min2 = $\frac{1,4}{fy} \; x \text{ bw } x \; d$

= $\frac{1,4}{420} \; x \; 400 \; x \; 739$

= 985,333 mm^2

As.min = As.min diambil yang terbesar 985,333 mm^2

As.use ≥ As.min = 760,265 mm^2 ≤ 985,333 mm^2 (NO)

As.max = $\frac{0,36 \text{ x } \beta \text{ x } fc' \text{x b x d}}{fy}$

= $\frac{0,36 \text{ x } 0,84 \text{ x } 30 \text{x } 400 \text{ x } 739}{420}$

= 6384,96 mm^2

As.use ≥ As.max = 760,265 mm^2 ≤ 6384,96 mm^2 (NO)

6) Cek spasi tulangan

S_1 = $\frac{\text{b}-(2 \text{ x selimut beton})-(2\text{x D sengkang})-(\text{n x D tul utama})}{\text{n}-1}$

= $\frac{400-(2 \text{ x } 40)-(2\text{x } 10)-(3 \text{ x } 22)}{2-1}$

= 256 mm

S > Smin = 256 mm > 25 mm (OK)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

B. Tulangan Torsi

Tu hasil analisis midas = 192 kNm

Vu hasil analisis midas = 33,4 kN

Acp = b x h

= 400 x 800

= 320000

Pcp = 2 x (b + h)

= 2 x (400 + 800)

= 2400

ΦT th = $\frac{0{,}75\ x\ 0{,}083\ x\ 1\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ Acp^2}{Pcp}$

= $\frac{0{,}75\ x\ 0{,}083\ x\ 1\ x\ \sqrt{30}x\ 320000^2}{2400}$

= 14,548 kNm

x_1 = $\frac{b-\ 2\ x\ (selimut\ beton\ +diameter\ tulangan\ sengkang)}{2}$

= $\frac{400-\ 2\ x\ (40\ +10)}{2}$

= 310 mm

y_1 = $\frac{h-\ 2\ x\ (selimut\ beton\ +diameter\ tulangan\ sengkang)}{2}$

= $\frac{800-\ 2\ x\ (40\ +10)}{2}$

= 710 mm

Aoh = x_1 x y_1

= 310 x 710

= 220100 mm^2

Ao = 0,85 x Aoh

= 0,85 x 220100

= 187085 mm^2

Ph = 2 x (x_1 + y_1)

= 2 x (310 + 710)

= 2040 mm

Vc = 0,17 x 1 x $\sqrt{f'c}$ x b x d

= 0,17 x 1 x $\sqrt{30}$ x 400 x 739

= 275241,5396 N

= 275,2415396 kN

Batasan 1 = $\frac{\sqrt{Vu\ x\ 1000}}{\text{b x } d^2} + (\frac{\text{Tu x } 10^{\,6}\text{x Ph}}{(1{,}7 \text{ x } Aoh^2)^2})$

= $\frac{\sqrt{192\ x\ 1000}}{400 \text{ x } 739^2} + (\frac{33{,}4 \text{ x } 10^{\,6}\text{x } 2040}{(1{,}7 \text{ x } 220100^2)^2})$

= 1,052 N/mm^2

Batasan 2 = $0{,}75 \frac{Vc\ x\ 1000}{(\text{b x d}) + 0{,}66 \text{ x } \sqrt{f'c}}$

= $0{,}75 \frac{275{,}2415396\ x\ 1000}{(400 \text{ x } 739) + 0{,}66 \text{ x } \sqrt{30}}$

= 3,41 N/mm^2

Tn = $\frac{Tu\ x\ 10^6}{0{,}75}$

= $\frac{33{,}4\ x\ 10^6}{0{,}75}$

= 44533333,33 Nmm

θ = 45°

$\frac{At}{s}$ = $\frac{\text{Tn}}{2\ x\ Ao\ x\ fyt\ x\ COT(RADIANS(45)}$

= $\frac{44533333{,}33}{2\ x\ 187085\ x\ 280\ x\ COT(RADIANS(45)}$

= 0,425 mm^2/mm

Tulangan Torsi Transversal Tumpuan

ØVs $= Vu - (0{,}75\ x\ Vc)$

$= 192 - (0{,}75\ x\ 275{,}2415396\ )$

= -14,431 kN

Vs $= \frac{\text{ØVs}}{0{,}75}$

$= \frac{-14{,}431}{0{,}75}$

= -19,24133 kN

$\frac{\text{Av}}{s}$ $= \frac{Vs\ x\ 1000}{fyt\ x\ d}$

$= \frac{-19{,}24133\ x\ 1000}{280\ x\ 739}$

= -0,09299 mm^2/mm

$\frac{\text{Ask}}{s}$ req $= \frac{\text{At}}{s} + \frac{\text{Av}}{s}$

= 0,425 + (-0,09299)

= 0,757 mm^2/mm

Ask.use $= \frac{1\ x\ \pi\ diameter\ tul\ sengkang^2}{4}$

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

= 78,54

s $= 2\ x\ \frac{Ask.use}{\frac{Ask}{s}req}$

$= 2\ x\ \frac{78{,}54}{0{,}757}$

= 207,503 mm

s max $= \frac{Ph}{8}$

$= \frac{2040}{8}$

= 255 mm

s pakai = 200 mm

As min1 $= \frac{0{,}062\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ b\ x\ s\ use}{fyt}$

$= \frac{0{,}062\ x\ \sqrt{30}\ x\ 400\ x\ 200}{280}$

$= 97{,}025\ mm^2$

As min 2 $= \frac{0{,}35\ x\ b\ x\ S\ use}{fyt}$

$= \frac{0{,}35\ x\ 400\ x\ 200}{280}$

$= 100\ mm^2$

Al $= \frac{\frac{At}{s}\ x\ Ph\ \ x\ \theta\ x\ fyt}{fy\ x\ COT(RADIANS(\theta)^2}$

$= \frac{0{,}425\ x\ 2040\ \ x\ 45\ x\ 280}{420\ x\ COT(RADIANS(45)^2}$

$= 578\ mm^2$

Al min $= \frac{0{,}42\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ Acp}{fy - \frac{At}{s}\ x\ Ph\ x\ \frac{fyt}{fy}}$

$= \frac{0{,}42\ x\ \sqrt{30}\ x\ 320000}{420 - 0{,}425\ x\ 2040\ x\ \frac{280}{420}}$

$= 1174{,}7122\ mm^2$

AI use $=$ *dipilih yang paling besar dari AI dan AI min*

$= 1174{,}7122\ mm^2$

Tulangan Torsi Longitudinal Tumpuan

Sisi Atas $= As._{req} + \frac{AI}{4}$

$= 1738{,}056 + \frac{1174{,}7122}{4}$

$= 2031{,}73405\ mm^2$

n terpasang $= \frac{\text{sisi atas}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{2031{,}73405}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 22^2}$

$= 5{,}3448$

$= 6$

Sisi Bawah $= As._{req} + \frac{AI}{4}$

$= 846{,}928 + \frac{1174{,}7122}{4}$

$= 1140{,}606046\ mm^2$

n terpasang $= \frac{\text{sisi bawah}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{1140{,}606046}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 22^2}$

$= 3{,}00055$

$= 4$

Torsi $= \frac{\text{AI use}}{2}$

$= \frac{1140{,}606046}{2}$

$= 587{,}3561\ mm^2$

n terpasang $= \frac{\text{Torsi}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{587{,}3561}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 13^2}$

$= 4{,}42512$

$=6$

Maka didapatkan tulangan sebagi berikut :

Tulangan atas = 6D-22

Tulangan bawah = 4D-22

Torsi = 6D-13

C. Tulangan Traansversal

Data Perencanaan Balok Induk (400 x 800mm)

Tabel 2. 13 Tulangan Longitudinal Balok Indok (400 x 800mm)

	Kiri	Kanan
Atas	6	6
Bawah	4	4

a. Tumpuan Kiri

1) Momen ujung tumpuan kiri positif (MPr_1)

Tulangan atas = 6D22

As use $= \frac{n \times \pi \times D^2}{4}$

$= \frac{6 \times \pi \times 22^2}{4}$

$= 2280{,}7963 \text{ mm}^2$

Apr $= \frac{As \times 1{,}25 \times fy}{0{,}85 \times Fc' \times b}$

$= \frac{2280{,}7963 \times 1{,}25 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 400}$

$= 117{,}394 \text{ mm}$

Mpr_1 $= As \times 1{,}25 \times fy \left(d - \frac{apr}{2}\right)$

$= 2280{,}7963 \times 1{,}25 \times 420 \left(739 - \frac{117{,}394}{2}\right)$

$= 814{,}607 \text{ kNm}$

2) Momen ujung tumpuan kiri positif (MPr_2)

Tulangan atas = 6D22

As use $= \frac{n \times \pi \times D^2}{4}$

$= \frac{6 \times \pi \times 22^2}{4}$

$= 1520{,}5308 \text{ mm}^2$

Apr $= \frac{As \times 1{,}25 \times fy}{0{,}85 \times Fc' \times b}$

$= \frac{1520{,}5308 \times 1{,}25 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 400}$

$= 78{,}263 \text{ mm}$

Mpr_2 $= As \times 1{,}25 \times fy \left(d - \frac{apr}{2}\right)$

$= 1520{,}5308 \text{ x } 1{,}25 \text{ x } 420 \left(739 - \frac{78{,}263}{2}\right)$

= 558,69 kNm

3) Gaya geser gempa akibat sendi plastis

Ve $= \frac{Mpr1+Mpr2}{Ln}$

$= \frac{814{,}607 + 558{,}69}{5450/1000}$

= 251,981 kN

4) Gaya geser akibat beban gravitasi

(Tumpuan -)

Vg = 153,3 kN

(Tumpuan +)

Vg = 125,6 kN

5) Gaya geser desain

(Tumpuan -)

Ve1 gempa kiri = Vg – Ve1

= 153,3 - 251,981

= - 98,681 kN

Ve1 gempa kanan = Vg + Ve1

= 153,3 + 251,981

= 405,281 kN

(Tumpuan +)

Ve1 gempa kiri = Vg + Ve1

= 125,6 + 251,981

= 377,581 kN

Ve1 gempa kanan = Vg - Ve1

= 125,6 – 251,981

= - 126,381 kN

6) Tulangan geser

Tumpuan -

Gaya geser akibat gempa :

Vs = 405,281 kN

Vs maks $= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d tulangan transversal}}{1000}$

$= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 400 \text{ x } 739}{1000}$

= 1068,585 kN

Direncanakan diameter 10 mm

As $= 2\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } D^2$

$= 2\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } 10^2$

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

Tumpuan +

Gaya geser akibat gempa :

Vs = 377,581 kN

Vs maks $= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d tulangan transversal}}{1000}$

$= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 400 \text{ x } 739}{1000}$

= 1068,585 kN

Direncanakan diameter 10 mm

As $= 2\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } D^2$

$= 2\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } 10^2$

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

7) Cek spasi :

Tumpuan -

S $= \frac{As \text{ x fyt x d tulangan transversal}}{\text{Vs x } 1000}$

$= \frac{157{,}08 \text{ x } 280 \text{ x } 739}{405{,}281 \text{ x } 1000}$

= 80,199 mm

S maks = 6 x diameter tulangan utama

= 6 x 22

= 132 mm

Maka, batas spasi maksimum = 80,199 mm

S < S max = 80,199 mm < 132 mm (OK)

Dipasang 2D10-75

Tumpuan +

S $= \frac{As \text{ x fyt x d tulangan transversal}}{\text{Vs x 1000}}$

$= \frac{157{,}08 \text{ x } 280 \text{ x } 739}{377{,}581 \text{ x } 1000}$

= 86,082 mm

S maks = 6 x diameter tulangan utama

= 6 x 22

= 132 mm

Maka, batas spasi maksimum = 86,082 mm

S < S max = 86,082 mm < 132 mm (OK)

Dipasang 2D10-75

b. Lapangan

Ve1 gempa kiri $= \frac{\text{Ln} - 2 \text{ x h}}{\text{Ln}}$ x (Ve gempa kiri tumpuan (+) – ve tumpuan (-) + ve tumpuan (-)

$= \frac{5450 - 2 \text{ x } 800}{5450}$ x (377,581 – 98,681) + 98,681

= 295,7021 kN

Ve1 gempa kanan $= \frac{\text{Ln} - 2 \text{ x h}}{\text{Ln}}$ x (Ve gempa kanan tumpuan positif – ve tumpuan negative) + ve tumpuan negative

$= \frac{5450 - 2 \text{ x } 800}{5450}$ x (405,281 – 126,381) + 126,381

= 323,4021 kN

Ve = 323,4021 kN (diambil nilai yang terbesar dari hasil Ve gempa)

Vc $= 0{,}17 \text{ x } 1 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d}}{1000}$

$= 0{,}17 \text{ x } 1 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 350 \text{ x } 739}{1000}$

= 275,2415 kN

ØVc = 0,75 x Vc
= 0,75 x 275,2415
= 206,4312

Vs = $\frac{Ve\ Lapangan}{\emptyset}$ - Vc
= $\frac{323,4021}{0,75}$ – 275,2415
= 155,9613 kN

Dipasang sengkang 2 kaki diameter 10

Av = $\frac{1}{4}$ x π x tulangan tumpuan x diameter tumpuan^2
= $\frac{1}{4}$ x π x 2 x 10^2
= 157,08

S = $\frac{Av\ x\ fyt\ x\ d}{Vs}$
= $\frac{157,08\ x\ 280\ x\ 739}{155,9613\ x\ 1000}$
= 208,4038 mm

S max = $\frac{d}{2}$
= $\frac{739}{2}$
= 369,5 mm

S < S max = 208,4038 mm < 369,5 mm (OK)
Maka dipasang Sengkang lapangan 2D10-200

2.9.2 Perencanaan Balok Anak

Pada perencanaan gedung *Co-Working Lab* ini, akan memperhitungkan satu buah balok dengan momen terbesar (Balok Induk 200 x 280) di lantai 1.

Data Perencanaan Balok Induk (200 x 280mm) Bentang 5M

Mutu beton = 30 Mpa

Lebar Balok (b) = 200 mm

Tinggi Balok (h) = 280 mm

Bentang Balok (L) = 6000 mm

Bentang Bersih (Ln) = 5450 mm

Selimut Beton = 40 mm

Diameter Tulangan Utama = 22 mm

Diameter Tulangan Sengkang = 10 mm

Mutu Tulangan (Fy) = 420 Mpa

Mutu Beton (Fc) = 30 Mpa

β = 0,84

Tegangan Leleh = 280 Mpa

Diameter Tul Torsi = 13 mm

Tinggi efektif = 319 mm

A. Tulangan Longitudinal

a. Tulangan Negatif Tumpuan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu – Tumpuan = 55,4 kNm

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{\text{Mu} -}{\phi}$

$= \frac{55,4}{0,9}$

= 61,556 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\text{d} - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0,85 \text{ x } \text{fc}' x\ b}$

$= \frac{319 - \sqrt{319^2} - 2 \mid 61,556\ x\ 10^6 \mid}{0,85 \text{ x } 30\ x\ 200}$

= 40,394 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{40{,}394}{0{,}84}$

= 48,088 mm

3) Cek regangan tulangan

$\varepsilon s = \frac{d-c}{c}\ x\ 0{,}003$

$= \frac{319 - 48{,}088}{48{,}008}\ x\ 0{,}003$

= 0,0169

Karena $\varepsilon s \geq 0{,}005$ maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

$As._{req} = \frac{0{,}85 \text{ x } fc' x\ a\ x\ b}{fy}$

$= \frac{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 40{,}394\ x\ 200}{420}$

= 490,499 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

$n = \frac{As.req}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ D^2}$

$= \frac{490{,}444}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ 319^2}$

= 2 buah

$As._{use} = \frac{n \text{ x } \pi\ x\ D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi\ x\ 22^2}{4}$

= 760,265 mm^2

$As._{min1} = \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{fc'}}{fy}\ x\ b_w\ x\ d$

$= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{30}}{420}\ x\ 200\ x\ 319$

= 208,004 mm^2

$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy}\ x\ b_w\ x\ d$

$= \frac{1,4}{420} x$ 200 x 319

= 212,667 mm^2

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar 212,667 mm^2

$As._{use} \geq As._{min}$ = 760,265 $mm^2 \geq$ 212,667 mm^2 (OK)

$As._{max}$ $= \frac{0,36 \text{ x } \beta \text{ x } fc' \text{x b x d}}{fy}$

$= \frac{0,36 \text{ x } 0,84 \text{ x } 30 \text{ x } 200 \text{ x } 319}{420}$

= 1378,08 mm^2

$As._{use} \geq As._{max}$ = 760,265 $mm^2 \leq$ 1378,08 mm^2 (OK)

6) Cek spasi tulangan

S_1 $= \frac{\text{b}-(2 \text{ x selimut beton})-(2\text{x D sengkang})-(\text{n x D tul utama})}{\text{n}-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2 \text{ x } 10)-(4 \text{ x } 22)}{2-1}$

= 56 mm

$S_{1\ min}$ = 25 mm

S_{max} = 280 mm

S > Smin = 56 mm > 25 mm (OK)

S_{use} $= \frac{\text{b}-(2 \text{ x selimut beton})-(2\text{x D sengkang})-(\text{n x D tul utama})}{\text{n}-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2\text{x } 10)-(4 \text{ x } 22)}{2-1}$

= 56 mm

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

7) Kekuatan nominal, Mn

a $= \frac{\text{As fy}}{0{,}85 \text{ x f'c x b}}$

$= \frac{760{,}2654 \text{ x } 420}{0{,}85 \text{ x } 30 \text{ x } 200}$

= 62,6101 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{62{,}6101}{0{,}84}$

=74,5358 mm

Mn $= As\ fy\ (d - \frac{a}{2})$

$= 760{,}2654 \text{ x } 420\ (319 - \frac{62{,}6101}{2})$

= 91864296,82 Nmm

= 91,86429682 kNm

ØMn = 0,9 x Mn

= 0,9 x 91,86429682

= 82,6779 kNm

b. Tulangan Negatif Tumpuan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu + Tumpuan = 0

$= \frac{1}{2}\ x$ Mu tumpuan −

$= \frac{1}{2}\ x\ 55{,}4$

= 27,7

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{\text{Mu} -}{\phi}$

$= \frac{27{,}7}{0{,}9}$

= 30,778 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\mathrm{d} - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0{,}85 \text{ x } \mathrm{fc}' x\ b}$

$= \frac{319 - \sqrt{319^2} - 2 \mid 30{,}778\ x\ 10^6 \mid}{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 200}$

= 19,5151 mm

c $= \frac{\mathrm{a}}{\beta 1}$

$= \frac{19{,}5151}{0{,}84}$

= 23,232 mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{\mathrm{d} - \mathrm{c}}{\mathrm{c}}\ x\ 0{,}003$

$= \frac{319 - 23{,}232}{23{,}232}\ x\ 0{,}003$

= 0,0382

Karena $\varepsilon s \geq 0{,}005$ maka direncanakan terkendali Tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

As.req $= \frac{0{,}85 \text{ x } \mathrm{fc}' x\ a\ x\ b}{\mathrm{fy}}$

$= \frac{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 19{,}5151\ x\ 200}{420}$

= 236,969 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{\mathrm{As.req}}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ D^2}$

$= \frac{236{,}969}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ 319^2}$

= 2 buah

As.use $= \frac{\mathrm{n} \text{ x } \pi\ x\ D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi\ x\ 22^2}{4}$

= 760,265 mm^2

$As._{min1} = \frac{0{,}25 \times \sqrt{fc'}}{fy} \; x \; b_w \; x \; d$

$= \frac{0{,}25 \times \sqrt{30}}{420} \; x \; 200 \; x \; 319$

$= 208{,}004 \text{ mm}^2$

$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy} \; x \; b_w \; x \; d$

$= \frac{1{,}4}{420} \; x \; 200 \; x \; 319$

$= 212{,}667 \text{ mm}^2$

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar $212{,}667 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{min}$ $= 760{,}265 \text{ mm}^2 \geq 212{,}667 \text{ mm}^2$ (OK)

$As._{max} = \frac{0{,}36 \times \beta \times fc' \times b \times d}{fy}$

$= \frac{0{,}36 \times 0{,}84 \times 30 \times 200 \times 319}{420}$

$= 1378{,}08 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{max}$ $= 760{,}265 \text{ mm}^2 \leq 1378{,}08 \text{ mm}^2$ (OK)

6) Cek spasi tulangan

$S_1 = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2x \text{ D sengkang}) - (n \times \text{D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200 - (2 \times 40) - (2x\ 10) - (2 \times 22)}{2-1}$

$= 56$ mm

S > Smin = 56 mm > 25 mm (OK)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

7) Kekuatan nominal, Mn

a $= \frac{\text{As fy}}{0{,}85 \text{ x f'c x b}}$

$= \frac{760{,}2654 \text{ x } 420}{0{,}85 \text{ x } 30 \text{ x } 200}$

= 62,6101 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{62{,}6101}{0{,}84}$

=74,5358 mm

Mn $= As\ fy\ (d - \frac{a}{2})$

$= 760{,}2654 \text{ x } 420\ (319 - \frac{62{,}6101}{2})$

= 91864296,82 Nmm

= 91,86429682 kNm

ØMn = 0,9 x Mn

= 0,9 x 91,86429682

= 82,6779 kNm

c. Tulangan Negatif Lapangan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu - Lapangan = 0 (didapat dari midas)

Mu - Lapangan yang digunakan $= \frac{1}{4}\ x\ Mu\ Tumpuan -$

$= \frac{1}{4}\ x\ 55{,}4$

= 13,85

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{\text{Mu} -}{\phi}$

$= \frac{13,85}{0,9}$

$= 15,389$ kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2 \mid Mn.req \mid}}{0,85 \times fc' \times b}$

$= \frac{319 - \sqrt{319^2 - 2 \mid 15,389 \times 10^6 \mid}}{0,85 \times 30 \times 200}$

$= 9,604$ mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{9,604}{0,84}$

$= 11,433$ mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{d - c}{c} \times 0,003$

$= \frac{319 - 11,433}{11,433} \times 0,003$

$= 0,0807$

Karena $\varepsilon s \geq 0,005$ maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

$As._{req}$ $= \frac{0,85 \times fc' \times a \times b}{fy}$

$= \frac{0,85 \times 30 \times 9,604 \times 200}{420}$

$= 116,61$ mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{As.req}{0,25 \times \pi \times D^2}$

$= \frac{116,61}{0,25 \times \pi \times 319^2}$

$= 2$ buah

As.use $= \frac{n \times \pi \times D^2}{4}$

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

$= 760{,}265 \text{ mm}^2$

$As._{min1} = \frac{0{,}25 \times \sqrt{fc'}}{fy} \times b_w \times d$

$= \frac{0{,}25 \times \sqrt{30}}{420} \times 200 \times 319$

$= 208{,}004 \text{ mm}^2$

$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy} \times b_w \times d$

$= \frac{1{,}4}{420} \times 200 \times 319$

$= 212{,}667 \text{ mm}^2$

$As._{min}$ = As.min diambil yang terbesar $212{,}667 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{min}$ $= 760{,}265 \text{ mm}^2 \geq 212{,}667 \text{ mm}^2$ (OK)

$As._{max} = \frac{0{,}36 \times \beta \times fc' \times b \times d}{fy}$

$= \frac{0{,}36 \times 0{,}84 \times 30 \times 200 \times 319}{420}$

$= 1378{,}08 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{max}$ $= 760{,}265 \text{ mm}^2 \leq 1378{,}08 \text{ mm}^2$ (OK)

6) Cek spasi tulangan

$S_1 = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times \text{D sengkang}) - (n \times \text{D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2-1}$

= 56 mm

S > Smin = 56 mm > 25 mm (OK)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Tulangan Negatif Lapangan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu + Lapangan = 22,5 kNm

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{Mu}{\phi}$

$= \frac{22,5}{0,9}$

= 25 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2 \mid Mn.req \mid}}{0,85 \times fc' \times b}$

$= \frac{319 - \sqrt{319^2 - 2 \mid 25 \times 10^6 \mid}}{0,85 \times 30 \times 200}$

= 15,756 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{15,756}{0,84}$

= 18,757 mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{d - c}{c} \times 0,003$

$= \frac{319 - 18,757}{18,757} \times 0,003$

= 0,048

Karena εs ≥ 0,005 maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

$As._{req} = \frac{0{,}85 \text{ x } fc' \, x \, a \, x \, b}{fy}$

$= \frac{0{,}85 \text{ x } 30 \, x \, 15{,}756 \, x \, 200}{420}$

$= 191{,}323 \text{ mm}^2$

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

$n = \frac{As.req}{0{,}25 \text{ x } \pi \, x \, D^2}$

$= \frac{191{,}323}{0{,}25 \text{ x } \pi \, x \, 319^2}$

= 2 buah

$As.use = \frac{n \text{ x } \pi \, x \, D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi \, x \, 22^2}{4}$

$= 760{,}265 \text{ mm}^2$

$As._{min1} = \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{fc'}}{fy} \, x \, b_w \, x \, d$

$= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{30}}{420} \, x \, 200 \, x \, 319$

$= 208{,}004 \text{ mm}^2$

$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy} \, x \, b_w \, x \, d$

$= \frac{1{,}4}{420} \, x \, 200 \, x \, 319$

$= 212{,}667 \text{ mm}^2$

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar $212{,}667 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{min}$ = $760{,}265 \text{ mm}^2 \geq 212{,}667 \text{ mm}^2$ (OK)

$As._{max} = \frac{0{,}36 \text{ x } \beta \text{ x } fc' \text{x b x d}}{fy}$

$$= \frac{0{,}36 \text{ x } 0{,}84 \text{ x } 30\text{x } 200 \text{ x } 319}{420}$$

$= 1378{,}08 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{max}$ $= 760{,}265 \text{ mm}^2 \leq 1378{,}08 \text{ mm}^2$ (OK)

6) Cek spasi tulangan

S_1 $= \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2\text{x D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2\text{x } 10)-(2 \text{ x } 22)}{2-1}$

$= 56$ mm

S > Smin = 56 mm > 25 mm (OK)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

B. Tulangan Torsi

Tu hasil analisis midas = 43,9 kNm

Vu hasil analisis midas = 0,8 kN

Acp = b x h

= 200 x 380

= 76000

Pcp = 2 x (b + h)

= 2 x (200 + 380)

= 1160

ΦT th $= \frac{0{,}75 \; x \; 0{,}083 \; x \; 1 \; x \; \sqrt{f'c} \; x \; Acp^2}{Pcp}$

$= \frac{0{,}75 \; x \; 0{,}083 \; x \; 1 \; x \; \sqrt{30} x \; 76000^2}{1160}$

= 1,698 kNm

x_1 $= \frac{b- \; 2 \; x \; (selimut \; beton \; + diameter \; tulangan \; sengkang)}{2}$

$= \frac{200 - 2\ x\ (40 + 10)}{2}$

$= 110$ mm

y_1 $= \frac{h - 2\ x\ (selimut\ beton + diameter\ tulangan\ sengkang)}{2}$

$= \frac{380 - 2\ x\ (40 + 10)}{2}$

$= 290$ mm

Aoh $= x_1 \times y_1$

$= 110 \times 290$

$= 31900\ mm^2$

Ao $= 0{,}85 \times Aoh$

$= 0{,}85 \times 31900$

$= 27115\ mm^2$

Ph $= 2 \times (x_1 + y_1)$

$= 2 \times (110 + 290)$

$= 800$ mm

Vc $= 0{,}17 \times 1 \times \sqrt{f'c} \times b \times d$

$= 0{,}17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 200 \times 319$

$= 59405{,}98859$ N

$= 59{,}40598859$ kN

Batasan 1 $= \frac{\sqrt{Vu\ x\ 1000}}{b \times d^2} + \left(\frac{Tu \times 10^{6} \times Ph}{(1{,}7 \times Aoh^2)^2}\right)$

$= \frac{\sqrt{43{,}9\ x\ 1000}}{200 \times 319^2} + \left(\frac{0{,}8 \times 10^{6} \times 800}{(1{,}7 \times 31900^2)^2}\right)$

$= 0{,}781\ N/mm^2$

Batasan 2 $= 0{,}75 \frac{Vc\ x\ 1000}{(b \times d) + 0{,}66 \times \sqrt{f'c}}$

$= 0{,}75 \frac{59{,}40598859\ x\ 1000}{(200 \times 319) + 0{,}66 \times \sqrt{30}}$

$= 3{,}41\ N/mm^2$

Tn $= \frac{Tu\ x\ 10^6}{0{,}75}$

$= \frac{0{,}8\ x\ 10^6}{0{,}75}$

= 1066666,667 Nmm

ϴ = 45°

$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2\ x\ Ao\ x\ fyt\ x\ COT(RADIANS(45)}$

$= \frac{1066666{,}667}{2\ x\ 27115\ x\ 280\ x\ COT(RADIANS(45)}$

= 0,07 mm^2/mm

Tulangan Torsi Transversal Tumpuan

ØVs $= Vu - (0{,}75\ x\ Vc)$

$= 43{,}9 - (0{,}75\ x\ 59{,}40598859)$

= -0,654 kN

Vs $= \frac{ØVs}{0{,}75}$

$= \frac{-0{,}654}{0{,}75}$

= -0,872 kN

$\frac{Av}{s} = \frac{Vs\ x\ 1000}{fyt\ x\ d}$

$= \frac{-0{,}872\ x\ 1000}{280\ x\ 319}$

= -0,00976 mm^2/mm

$\frac{Ask}{s}$ req $= \frac{At}{s} + \frac{Av}{s}$

= 0,07 + (-0,00976)

= 0,13 mm^2/mm

Ask.use $= \frac{1\ x\ \pi\ diameter\ tul\ sengkang^2}{4}$

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

= 78,54

s $= 2\ x\ \frac{Ask.use}{\frac{Ask}{s}req}$

$= 2\ x\ \frac{78,54}{0,13}$

= 1208,308 mm

s max $= \frac{Ph}{8}$

$= \frac{800}{8}$

= 100 mm

s pakai = 150 mm

As min1 $= \frac{0,062\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ b\ x\ s\ use}{fyt}$

$= \frac{0,062\ x\ \sqrt{30}\ x\ 200\ x\ 150}{280}$

= 36,384 mm^2

As min 2 $= \frac{0,35\ x\ b\ x\ S\ use}{fyt}$

$= \frac{0,35\ x\ 200\ x\ 150}{280}$

= 37,5 mm^2

Al $= \frac{\frac{At}{s}\ x\ Ph\ \ x\ \theta\ x\ fyt}{fy\ x\ COT(RADIANS(\theta)^2}$

$= \frac{0,07\ x\ 800\ \ x\ 45\ x\ 280}{420\ x\ COT(RADIANS(45)^2}$

= 37,3333 mm^2

Al min $= \frac{0,42\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ Acp}{fy - \frac{At}{s}\ x\ Ph\ x\ \frac{fyt}{fy}}$

$= \frac{0,42\ x\ \sqrt{30}\ x\ 76000}{420 - 0,07\ x\ 800\ x\ \frac{280}{420}}$

= 378,93581 mm^2

AI use = *dipilih yang paling besar dari AI dan AI min*

= 378,93581 mm^2

Tulangan Torsi Longitudinal Tumpuan

Sisi Atas $= As._{req} + \frac{AI}{4}$

$= 490{,}499 + \frac{378{,}93581}{4}$

$= 585{,}23295\ mm^2$

n terpasang $= \frac{\text{sisi atas}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{585{,}23295}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 22^2}$

$= 1{,}53955$

$= 2$

Sisi Bawah $= As._{req} + \frac{AI}{4}$

$= 236{,}969 + \frac{378{,}93581}{4}$

$= 331{,}70295\ mm^2$

n terpasang $= \frac{\text{sisi bawah}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{331{,}70295}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 22^2}$

$= 0{,}872598$

$= 2$

Torsi $= \frac{\text{AI use}}{2}$

$= \frac{331{,}70295}{2}$

$= 189{,}4679\ mm^2$

n terpasang $= \frac{\text{Torsi}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{189{,}4679}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 13^2}$

$= 1{,}4274$

$=2$

Maka didapatkan tulangan sebagi berikut :

Tulangan atas = 2D-22

Tulangan bawah = 2D-22

Torsi = 2D-13

C. Tulangan Traansversal

Data Perencanaan Balok Anak (200 x 380mm) Bentang 5m

Tabel 2. 14 Tulangan Longitudinal Balok Anak (200 x 380mm)

	Kiri	Kanan
Atas	2	2
Bawah	2	2

a. Tumpuan Kiri

1) Momen ujung tumpuan kiri positif (MPr_1)

Tulangan atas = 2D22

As use $= \frac{n \times \pi \times D^2}{4}$

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

$= 760{,}2654\ mm^2$

Apr $= \frac{As \times 1{,}25 \times fy}{0{,}85 \times Fc' \times b}$

$= \frac{760{,}2654 \times 1{,}25 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 200}$

$= 78{,}263$ mm

Mpr_1 $= As \times 1{,}25 \times fy \left(d - \frac{apr}{2}\right)$

$= 760{,}2654 \times 1{,}25 \times 420 \left(319 - \frac{78{,}263}{2}\right)$

$= 101{,}329$ kNm

2) Momen ujung tumpuan kiri positif (MPr_2)

Tulangan atas = 2D22

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

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

= 760,2654 mm^2

Apr $= \frac{As \times 1,25 \times fy}{0,85 \times Fc' \times b}$

$= \frac{760,2654 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 30 \times 200}$

= 78,263 mm

Mpr_1 $= As \times 1,25 \times fy \left(d - \frac{apr}{2}\right)$

$= 760,2654 \times 1,25 \times 420 \left(319 - \frac{78,263}{2}\right)$

= 101,329 kNm

3) Gaya geser gempa akibat sendi plastis

Ve $= \frac{Mpr1+Mpr2}{Ln}$

$= \frac{101,329 + 101,329}{5450/1000}$

= 37,185 kN

4) Gaya geser akibat beban gravitasi

(Tumpuan -)

Vg = 35,9 Kn

(Tumpuan +)

Vg = 35 Kn

5) Gaya geser desain

(Tumpuan -)

Ve1 gempa kiri = Vg – Ve1

= 35,9 – 37,185

= - 1,285 kN

Ve1 gempa kanan = Vg + Ve1

= 35,9 + 37,185

= 73,085 Kn

(Tumpuan +)

Ve1 gempa kiri = Vg + Ve1

= 35 + 37,185

= 72,185 kN

Ve1 gempa kanan = Vg - Ve1

= 35 - 37,185

= - 2,185 kN

6) Tulangan geser

Tumpuan -

Gaya geser akibat gempa :

Vs = 73,085 kN

Vs maks $= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d tulangan transversal}}{1000}$

$= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 200 \text{ x } 319}{1000}$

= 211,837 kN

Direncanakan diameter 10 mm

As $= 2\,\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } D^2$

$= 2\,\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } 10^2$

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

Tumpuan +

Gaya geser akibat gempa :

Vs = 72,185 kN

Vs maks $= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d tulangan transversal}}{1000}$

$= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 200 \text{ x } 319}{1000}$

= 211,837 kN

Direncanakan diameter 10 mm

As $= 2\,\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } D^2$

$= 2\,\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } 10^2$

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

7) Cek spasi :

Tumpuan -

S $= \frac{As \text{ x fyt x d tulangan transversal}}{\text{Vs x 1000}}$

$= \frac{157{,}08 \text{ x } 280 \text{ x } 319}{73{,}085 \text{ x } 1000}$

= 176,327 mm

S maks = 6 x diameter tulangan utama

= 6 x 22

= 132 mm

S > S max = 176,327 mm >132 mm (OK)

Dipasang 2D10-125

Tumpuan +

S $= \frac{As \text{ x fyt x d tulangan transversal}}{\text{Vs x 1000}}$

$= \frac{157{,}08 \text{ x } 280 \text{ x } 739}{72{,}185 \text{ x } 1000}$

= 178,525 mm

S maks = 6 x diameter tulangan utama

= 6 x 22

= 132 mm

S > S max = 178,525 mm > 132 mm (OK)

Dipasang 2D10-125

b. Lapangan

Ve1 gempa kiri $= \frac{\text{Ln} - 2 \text{ x h}}{\text{Ln}}$ x (Ve gempa kiri tumpuan positif – ve tumpuan negative) + ve tumpuan negative

$= \frac{5450 - 2 \text{ x } 380}{5450}$ x (72,185 – 1,285) + 1,285

= 62,2980 kN

Ve1 gempa kanan $= \frac{\text{Ln} - 2 \text{ x h}}{\text{Ln}}$ x (Ve gempa kanan tumpuan positif – ve tumpuan negative) + ve tumpuan negative

$= \frac{5450 - 2 \text{ x } 380}{5450}$ x (73,085 – 2,185) + 2,185

= 63,1980 kN

Ve = 63,1980 kN (diambil nilai yang terbesar dari hasil Ve gempa)

Vc $= 0{,}17 \times 1 \times \frac{\sqrt{f'c} \times b \times d}{1000}$

$= 0{,}17 \times 1 \times \frac{\sqrt{30} \times 200 \times 319}{1000}$

= 59,406 kN

ØVc = 0,75 x Vc

= 0,75 x 59,406

= 44,5545

Vs $= \frac{Ve\ Lapangan}{\emptyset}$ - Vc

$= \frac{63{,}1980}{0{,}75} - 59{,}406$

= 24,858 kN

Dipasang sengkang 2 kaki diameter 10

Av $= \frac{1}{4} \times \pi \times$ tulangan tumpuan x diameter tumpuan^2

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

= 157,08

S $= \frac{Av \times fyt \times d}{Vs}$

$= \frac{157{,}08 \times 280 \times 319}{24{,}858 \times 1000}$

= 564,419 mm

S max $= \frac{d}{2}$

$= \frac{319}{2}$

= 159,5 mm

S > S max = 564,419 mm > 159,5 mm (OK)

Maka dipasang Sengkang lapangan 2D10-150

2.9.3 Perencanaan Balok Lift

Pada perencanaan gedung *Co-Working Lab* ini, akan memperhitungkan satu buah balok dengan momen terbesar (Balok Lift 200 x 280) di lantai 1.

Data Perencanaan Balok Lift (200 x 280mm) Bentang 5m

Mutu beton (f'c) = 30 Mpa

Lebar Balok (b) = 200 mm

Tinggi Balok (h) = 250 mm

Bentang Balok (L) = 2350 mm

Bentang Bersih (Ln) = 2150 mm

Selimut Beton = 40 mm

Diameter Tulangan Utama = 19 mm

Diameter Tulangan Sengkang = 10 mm

Mutu Tulangan (Fy) = 420 Mpa

β = 0,84

Tegangan Leleh = 280 Mpa

Diameter Tul Torsi = 13 mm

Tinggi efektif = 190,5 mm

A. Tulangan Longitudinal

a. Tulangan Negatif Tumpuan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu – Tumpuan = 26,4 kNm

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{Mu -}{\phi}$

$= \frac{26,4}{0,9}$

= 29,333 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\mathrm{d} - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0{,}85 \text{ x } \mathrm{fc}' x\ b}$

$= \frac{109{,}5 - \sqrt{109{,}5^2} - 2 \mid 29{,}333\ x\ 10^6 \mid}{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 200}$

= 33,061 mm

c $= \frac{\mathrm{a}}{\beta 1}$

$= \frac{33{,}061}{0{,}84}$

= 39,358 mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{\mathrm{d} - \mathrm{c}}{\mathrm{c}}\ x\ 0{,}003$

$= \frac{109{,}5 - 39{,}358}{39{,}358}\ x\ 0{,}003$

= 0,0115

Karena $\varepsilon s \geq 0{,}005$ maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

$As._{req}$ $= \frac{0{,}85 \text{ x } \mathrm{fc}' x\ a\ x\ b}{\mathrm{fy}}$

$= \frac{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 33{,}061\ x\ 200}{420}$

= 401,455 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{\mathrm{As.req}}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ D^2}$

$= \frac{401{,}455}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ 109{,}5^2}$

= 2 buah

$As._{use}$ $= \frac{\mathrm{n \text{ x }}\ \pi\ x\ D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x }\ \pi\ x\ 19^2}{4}$

= 567,057 mm^2

$As._{min1} = \frac{0{,}25 \times \sqrt{fc'}}{fy} \; x \; b_w \; x \; d$

$= \frac{0{,}25 \times \sqrt{30}}{420} \; x \; 200 \; x \; 190{,}5$

$= 124{,}216 \text{ mm}^2$

$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy} \; x \; b_w \; x \; d$

$= \frac{1{,}4}{420} \; x \; 200 \times 190{,}5$

$= 127 \text{ mm}^2$

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar 127 mm^2

$As._{use} \geq As._{min}$ $= 567{,}057 \text{ mm}^2 \geq 127 \text{ mm}^2$ (OK)

$As._{max} = \frac{0{,}36 \times \beta \times fc' \times b \times d}{fy}$

$= \frac{0{,}36 \times 0{,}84 \times 30 \times 200 \times 190{,}5}{420}$

$= 822{,}96 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{max}$ $= 567{,}057 \text{ mm}^2 \leq 822{,}96 \text{ mm}^2$ (OK)

6) Cek spasi tulangan

$S_1 = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2x \text{ D sengkang}) - (n \times \text{D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{2-1}$

$= 62$ mm

$S_{1\,min} = 25$ mm

$S_{max} = 280$ mm

S > Smin = 56 mm > 25 mm (OK)

S_{use} $= \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2x \text{ } 10)-(4 \text{ x } 19)}{2-1}$

= 62 mm

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

7) Kekuatan nominal, Mn

a $= \frac{\text{As fy}}{0{,}85 \text{ x f'c x b}}$

$= \frac{567{,}0575 \text{ x } 420}{0{,}85 \text{ x } 30 \text{ x } 200}$

= 46,6989 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{46{,}6989}{0{,}84}$

= 55,5939 mm

Mn $= As\ fy\ (d - \frac{a}{2})$

$= 5670575 \text{ x } 420\ (190{,}5 - \frac{46{,}6989}{2})$

= 39809272,695 Nmm

= 39,809272695 kNm

ØMn = 0,9 x Mn

= 0,9 x 39,809272695

= 35,8284 kNm

b. Tulangan Negatif Tumpuan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu + Tumpuan = 0

$= \frac{1}{2}\ x$ Mu tumpuan −

$= \frac{1}{2}\ x\ 26{,}4$

= 13,2 kNm

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{\text{Mu}}{\phi}$

$= \frac{13,2}{0,9}$

= 14,667 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\text{d} - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0,85 \text{ x } \text{fc}' x\ b}$

$= \frac{190,5 - \sqrt{190,5^2} - 2 \mid 14,667\ x\ 10^6 \mid}{0,85 \text{ x } 30\ x\ 200}$

= 15,7474 mm

c $= \frac{\text{a}}{\beta 1}$

$= \frac{15,7474}{0,84}$

= 18,747 mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{\text{d} - \text{c}}{\text{c}}\ x\ 0,003$

$= \frac{190,5 - 18,747}{18,747}\ x\ 0,003$

= 0,0275

Karena εs ≥ 0,005 maka direncanakan terkendali Tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

As.req $= \frac{0,85 \text{ x } \text{fc}' x\ a\ x\ b}{\text{fy}}$

$= \frac{0,85 \text{ x } 30 \text{ x } 15,7474\ x\ 200}{420}$

= 191,218 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{\text{As.req}}{0,25 \text{ x } \pi\ x\ D^2}$

$= \frac{191,218}{0,25 \text{ x } \pi\ x\ 190,5^2}$

= 2 buah

As.use $= \frac{\text{n x } \pi\ x\ D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi x\ 19^2}{4}$

$= 567{,}057 \text{ mm}^2$

$As._{min1} = \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{fc'}}{fy} x\ b_w\ x\ d$

$= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{30}}{420} x\ 200\ x\ 190{,}5$

$= 124{,}216 \text{ mm}^2$

$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy} x\ b_w\ x\ d$

$= \frac{1{,}4}{420} x\ 200 \text{ x } 190{,}5$

$= 127 \text{ mm}^2$

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar 127 mm^2

$As._{use} \geq As._{min}$ = $567{,}057 \text{ mm}^2 \geq 127 \text{ mm}^2$ (OK)

$As._{max} = \frac{0{,}36 \text{ x } \beta \text{ x } fc' \text{ x } b \text{ x } d}{fy}$

$= \frac{0{,}36 \text{ x } 0{,}84 \text{ x } 30 \text{ x } 200 \text{ x } 190{,}5}{420}$

$= 822{,}96 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{max}$ = $567{,}057 \text{ mm}^2 \leq 822{,}96 \text{ mm}^2$ (OK)

6) Cek spasi tulangan

$S_1 = \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2 \text{ x } 10)-(4 \text{ x } 19)}{2-1}$

$= 62 \text{ mm}$

$S_{1\ min}$ = 25 mm

S_{max} = 280 mm

S > Smin = 56 mm > 25 mm (OK)

$S_{use} = \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2x\ 10)-(4 \text{ x } 19)}{2-1}$

= 62 mm

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

7) Kekuatan nominal, Mn

a $= \frac{As\ fy}{0{,}85 \text{ x } f'c \text{ x } b}$

$= \frac{567{,}0575 \text{ x } 420}{0{,}85 \text{ x } 30 \text{ x } 200}$

= 46,6989 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{46{,}6989}{0{,}84}$

= 55,5939 mm

Mn $= As\ fy\ (d - \frac{a}{2})$

$= 5670575 \text{ x } 420\ (190{,}5 - \frac{46{,}6989}{2})$

= 39809272,695 Nmm

= 39,809272695 kNm

ØMn = 0,9 x Mn

= 0,9 x 39,809272695

= 35,8284 kNm

c. Tulangan Negatif Lapangan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu - Lapangan = 0 (didapat dari midas)

Mu - Lapangan yang digunakan $= \frac{1}{4}\ x\ Mu\ Tumpuan -$

$= \frac{1}{4}\ x\ 26{,}4$

= 6,6

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{Mu -}{\phi}$

$= \frac{6{,}6}{0{,}9}$

= 7,333 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{d - \sqrt{d^2} - 2\ |\ Mn.req|}{0{,}85\ x\ fc'\ x\ b}$

$= \frac{190{,}5 - \sqrt{190{,}5^2} - 2\ |\ 7{,}333\ x\ 10^6|}{0{,}85\ x\ 30\ x\ 200}$

= 7,703 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{7{,}703}{0{,}84}$

= 9,17 mm

3) Cek regangan tulangan

$\varepsilon s = \frac{d - c}{c}\ x\ 0{,}003$

$= \frac{190{,}5 - 9{,}17}{9{,}17}\ x\ 0{,}003$

= 0,0593

Karena $\varepsilon s \geq 0{,}005$ maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

$As._{req} = \frac{0{,}85\ x\ fc'\ x\ a\ x\ b}{fy}$

$= \frac{0{,}85\ x\ 30\ x\ 7{,}703\ x\ 200}{420}$

= 93,536 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{As.req}{0,25 \times \pi \times D^2}$

$= \frac{93,536}{0,25 \times \pi \times 190,5^2}$

= 2 buah

$As._{use}$ $= \frac{n \times \pi \times D^2}{4}$

$= \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4}$

= 567,057 mm^2

$As._{min1}$ $= \frac{0,25 \times \sqrt{fc'}}{fy} \times b_w \times d$

$= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{420} \times 200 \times 190,5$

= 124,216 mm^2

$As._{min2}$ $= \frac{1,4}{fy} \times b_w \times d$

$= \frac{1,4}{420} \times 200 \times 190,5$

= 127 mm^2

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar 127 mm^2

$As._{use} \geq As._{min}$ = 567,057 $mm^2 \geq$ 127 mm^2 (OK)

$As._{max}$ $= \frac{0,36 \times \beta \times fc' \times b \times d}{fy}$

$= \frac{0,36 \times 0,84 \times 30 \times 200 \times 190,5}{420}$

= 822,96 mm^2

$As._{use} \geq As._{max}$ = 567,057 $mm^2 \leq$ 822,96 mm^2 (OK)

8) Cek spasi tulangan

S_1 $= \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2 \text{ x } 10)-(4 \text{ x } 19)}{2-1}$

= 62 mm

$S_{1\ min}$ = 25 mm

S_{max} = 280 mm

S > Smin = 56 mm > 25 mm (OK)

S_{use} $= \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2x \text{ } 10)-(4 \text{ x } 19)}{2-1}$

= 62 mm

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Tulangan Negatif Lapangan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu + Lapangan = 30,7 kNm

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{Mu}{\phi}$

$= \frac{30,7}{0,9}$

= 34,111 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{d-\sqrt{d^2-2 \mid Mn.req \mid}}{0,85 \text{ x } fc' x\ b}$

$= \frac{190{,}5 - \sqrt{190{,}5^2 - 2 \mid 34{,}111\ x\ 10^6 \mid}}{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 200}$

= 39,128 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{39{,}128}{0{,}84}$

= 46,581 mm

3) Cek regangan tulangan

$\varepsilon s = \frac{d-c}{c}\ x\ 0{,}003$

$= \frac{190{,}5 - 46{,}581}{46{,}581}\ x\ 0{,}003$

= 0,0093

Karena $\varepsilon s \geq 0{,}005$ maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

$As._{req} = \frac{0{,}85 \text{ x } fc'\ x\ a\ x\ b}{fy}$

$= \frac{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 39{,}128\ x\ 200}{420}$

= 475,126 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{As.req}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ D^2}$

$= \frac{475{,}126}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ 190{,}5^2}$

= 2 buah

$As._{use} = \frac{n \text{ x } \pi\ x\ D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi\ x\ 19^2}{4}$

= 567,057 mm^2

$As._{min1} = \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{fc'}}{fy}\ x\ b_w\ x\ d$

$= \frac{0{,}25 \times \sqrt{30}}{420} \times 200 \times 190{,}5$

$= 124{,}216 \text{ mm}^2$

$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy} \times b_w \times d$

$= \frac{1{,}4}{420} \times 200 \times 190{,}5$

$= 127 \text{ mm}^2$

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar 127 mm^2

$As._{use} \geq As._{min}$ = $567{,}057 \text{ mm}^2 \geq 127 \text{ mm}^2$ (OK)

$As._{max} = \frac{0{,}36 \times \beta \times fc' \times b \times d}{fy}$

$= \frac{0{,}36 \times 0{,}84 \times 30 \times 200 \times 190{,}5}{420}$

$= 822{,}96 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{max}$ = $567{,}057 \text{ mm}^2 \leq 822{,}96 \text{ mm}^2$ (OK)

6) Cek spasi tulangan

$S_1 = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{2-1}$

$= 62$ mm

$S_{1\,min} = 25$ mm

$S_{max} = 280$ mm

S > Smin = 56 mm > 25 mm (OK)

S_{use} $= \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2x \text{ } 10)-(4 \text{ x } 19)}{2-1}$

= 62 mm

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

B. Tulangan Torsi

Tu hasil analisis midas = 47,9 kNm

Vu hasil analisis midas = 2,9 kN

Acp = b x h

= 200 x 250

= 50000

Pcp = 2 x (b + h)

= 2 x (200 + 250)

= 900

ΦT th $= \frac{0{,}75 \; x \; 0{,}083 \; x \; 1 \; x \sqrt{f'c} \; x \; Acp^2}{Pcp}$

$= \frac{0{,}75 \; x \; 0{,}083 \; x \; 1 \; x \sqrt{30} x \; 50000^2}{900}$

= 0,947 kNm

x_1 $= \frac{b- \; 2 \; x \; (selimut \; beton \; + diameter \; tulangan \; sengkang)}{2}$

$= \frac{200- \; 2 \; x \; (40 \; +10)}{2}$

= 110 mm

y_1 $= \frac{h- \; 2 \; x \; (selimut \; beton \; + diameter \; tulangan \; sengkang)}{2}$

$= \frac{250- \; 2 \; x \; (40 \; +10)}{2}$

= 160 mm

Aoh = x_1 x y_1

= 110 x 160

= 17600 mm^2

Ao = 0,85 x Aoh

= 0,85 x 17600

= 14960 mm^2

Ph = 2 x (x_1 + y_1)

= 2 x (110 + 160)

= 540 mm

Vc = 0,17 x 1 x $\sqrt{f'c}$ x b x d

= 0,17 x 1 x $\sqrt{30}$ x 200 x 190,5

= 35475,99005 N

= 35,47599005 kN

Batasan 1 = $\frac{\sqrt{Vu\ x\ 1000}}{\text{b x } d^2} + (\frac{\text{Tu x } 10^{6} \text{x Ph}}{(1{,}7 \text{ x } Aoh^2)^2})$

= $\frac{\sqrt{47{,}9\ x\ 1000}}{200 \text{ x } 190{,}5^2} + (\frac{0{,}8 \text{ x } 10^{6} \text{x } 540}{(1{,}7 \text{ x } 17600^2)^2})$

= 3,229 N/mm^2

Batasan 2 = $0{,}75 \frac{Vc\ x\ 1000}{(\text{b x d}) + 0{,}66 \text{ x } \sqrt{f'c}}$

= $0{,}75 \frac{35{,}47599005\ x\ 1000}{(200 \text{ x } 190{,}5) + 0{,}66 \text{ x } \sqrt{30}}$

= 3,41 N/mm^2

Tn = $\frac{Tu\ x\ 10^6}{0{,}75}$

= $\frac{2{,}9\ x\ 10^6}{0{,}75}$

= 3866666,667 Nmm

θ = 45°

$\frac{At}{s}$ $= \frac{Tn}{2\ x\ Ao\ x\ fyt\ x\ COT(RADIANS(45)}$

$= \frac{3866666,667}{2\ x\ 14960\ x\ 280\ x\ COT(RADIANS(45)}$

= 0,462 mm^2/mm

Tulangan Torsi Transversal Tumpuan

ØVs $= Vu - (0,75\ x\ Vc)$

= 47,9 − (0,75 x 35,47599005)

= 21,293 kN

Vs $= \frac{ØVs}{0,75}$

$= \frac{21,293}{0,75}$

= 28,39067 kN

$\frac{Av}{s}$ $= \frac{Vs\ x\ 1000}{fyt\ x\ d}$

$= \frac{28,39067\ \ x\ 1000}{280\ x\ 190,5}$

= 0,53226 mm^2/mm

$\frac{Ask}{s}$ req $= \frac{At}{s} + \frac{Av}{s}$

= 0,462 +0,53226

= 1,456 mm^2/mm

Ask.use $= \frac{1\ x\ \pi\ diameter\ tul\ sengkang^2}{4}$

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

= 78,54

s $= 2\ x\ \frac{Ask.use}{\frac{Ask}{s}req}$

$= 2\ x\ \frac{78,54}{1,456}$

= 107,885 mm

s max $= \frac{Ph}{8}$

$= \frac{540}{8}$

= 67,5 mm

s pakai = 100 mm

As min1 $= \frac{0{,}062\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ b\ x\ s\ use}{fyt}$

$= \frac{0{,}062\ x\ \sqrt{30}\ x\ 200\ x\ 100}{280}$

= 24,256 mm^2

As min 2 $= \frac{0{,}35\ x\ b\ x\ S\ use}{fyt}$

$= \frac{0{,}35\ x\ 200\ x\ 100}{280}$

= 25 mm^2

Al $= \frac{\frac{At}{s}\ x\ Ph\ \ x\ \theta\ x\ fyt}{fy\ x\ COT(RADIANS(\theta)^2}$

$= \frac{0{,}07\ x\ 540\ \ x\ 45\ x\ 280}{420\ x\ COT(RADIANS(45)^2}$

= 166,32 mm^2

Al min $= \frac{0{,}42\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ Acp}{fy - \frac{At}{s}\ x\ Ph\ x\ \frac{fyt}{fy}}$

$= \frac{0{,}42\ x\ \sqrt{30}\ x\ 50000}{420 - 0{,}462\ x\ 540\ x\ \frac{280}{420}}$

= 107,5413 mm^2

AI use = *dipilih yang paling besar dari AI dan AI min*

= 166,32 mm^2

Tulangan Torsi Longitudinal Tumpuan

Sisi Atas $= As._{req} + \frac{AI}{4}$

$= 401{,}455 + \frac{166{,}32}{4}$

= 443,035 mm^2

n terpasang $= \frac{\text{sisi atas}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{443{,}035}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 22^2}$

= 1,165475

= 2

Sisi Bawah $= As._{req} + \frac{AI}{4}$

$= 191{,}218 + \frac{166{,}32}{4}$

= 232,798 mm^2

n terpasang $= \frac{\text{sisi bawah}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{232{,}798}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 22^2}$

= 0,61241

= 2

Torsi $= \frac{\text{AI use}}{2}$

$= \frac{166{,}32}{2}$

= 83,16 mm^2

n terpasang $= \frac{\text{Torsi}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{83{,}16}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 13^2}$

= 0,626524

=2

Maka didapatkan tulangan sebagi berikut :

Tulangan atas = 2D-22

Tulangan bawah = 2D-22

Torsi = 2D-13

C. Tulangan Transversal

Data Perencanaan Balok Anak (200 x 250mm) Bentang 5m

Tabel 2. 15 Tulangan Longitudinal Balok Anak (200 x 250mm)

	Kiri	Kanan
Atas	2	2
Bawah	2	2

a. Tumpuan Kiri

1) Momen ujung tumpuan kiri positif (MPr_1)

Tulangan atas = 2D22

As use $= \frac{\text{n x } \pi x D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi x 19^2}{4}$

$= 567{,}0575 \text{ mm}^2$

Apr $= \frac{\text{As x } 1{,}25 \text{ x fy}}{0{,}85\text{x Fc}'\text{x b}}$

$= \frac{567{,}0575 \text{ x } 1{,}25 \text{ x } 420}{0{,}85\text{x } 30\text{x } 200}$

$= 58{,}374$ mm

Mpr_1 $= \text{As x } 1{,}25 \text{ x fy } (d - \frac{apr}{2})$

$= 567{,}0575 \text{ x } 1{,}25 \text{ x } 420 \ (190{,}5 - \frac{58{,}374}{2})$

$= 48{,}024$ kNm

2) Momen ujung tumpuan kiri positif (MPr_2)

Tulangan atas = 2D22

As use $= \frac{\text{n x } \pi x D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi x 19^2}{4}$

$= 567{,}0575 \text{ mm}^2$

Apr $= \frac{\text{As x } 1{,}25 \text{ x fy}}{0{,}85\text{x Fc}'\text{x b}}$

$= \frac{567{,}0575 \text{ x } 1{,}25 \text{ x } 420}{0{,}85\text{x } 30\text{x } 200}$

= 58,374 mm

Mpr_1 = As x 1,25 x fy $(d - \frac{apr}{2})$

$= 567{,}0575 \text{ x } 1{,}25 \text{ x } 420\ (190{,}5 - \frac{58{,}374}{2})$

= 48,024 kNm

3) Gaya geser gempa akibat sendi plastis

Ve $= \frac{Mpr1+Mpr2}{Ln}$

$= \frac{48{,}024 + 48{,}024}{2150/1000}$

= 44,763 kN

4) Gaya geser akibat beban gravitasi

(Tumpuan -)

Vg = 31,8 kN

(Tumpuan +)

Vg = 30,1 kN

5) Gaya geser desain

(Tumpuan -)

Ve1 gempa kiri = Vg – Ve1

= 31,8 – 44,763

= - 12,873 kN

Ve1 gempa kanan = Vg + Ve1

= 31,8 + 44,763

= 76,473 kN

(Tumpuan +)

Ve1 gempa kiri = Vg + Ve1

= 30,1 + 44,763

= 74,773 kN

Ve1 gempa kanan = Vg - Ve1

= 30,1 - 44,763

= -14, 573 kN

6) Tulangan geser

Tumpuan -

Gaya geser akibat gempa :

Vs = 76,473 kN

Vs maks $= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d tulangan transversal}}{1000}$

$= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 200 \text{ x } 190{,}5}{1000}$

= 137,73 kN

Direncanakan diameter 10 mm

As $= 2\,\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } D^2$

$= 2\,\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } 10^2$

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

Tumpuan +

Gaya geser akibat gempa :

Vs = 74,773 kN

Vs maks $= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d tulangan transversal}}{1000}$

$= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 200 \text{ x } 190{,}5}{1000}$

= 137,73 kN

Direncanakan diameter 10 mm

As $= 2\,\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } D^2$

$= 2\,\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } 10^2$

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

7) Cek spasi :

Tumpuan -

S $= \frac{As \text{ x fyt x d tulangan transversal}}{\text{Vs x } 1000}$

$= \frac{157{,}08 \text{ x } 280 \text{ x } 190{,}5}{76{,}473 \text{ x } 1000}$

= 109,563 mm

S maks = 6 x diameter tulangan utama

= 6 x 19

= 114 mm

S > S max = 109,563 mm >114 mm (OK)

Dipasang 2D10-75

Tumpuan +

S $= \frac{As \text{ x fyt x d tulangan transversal}}{Vs \text{ x } 1000}$

$= \frac{157{,}08 \text{ x } 280 \text{ x } 190{,}5}{74{,}773 \text{ x } 1000}$

= 112,054 mm

S maks = 6 x diameter tulangan utama

= 6 x 19

= 114 mm

S > S max = 112,054 mm > 114 mm (OK)

Dipasang 2D10-75

b. Lapangan

Ve1 gempa kiri $= \frac{Ln - 2 \text{ x } h}{Ln}$ x (Ve gempa kiri tumpuan positif – ve tumpuan negative) + ve tumpuan negative

$= \frac{2150 - 2 \text{ x } 250}{5450}$ x (74,773 – 12,873) + 12,873

= 60,3777 kN

Ve1 gempa kanan $= \frac{Ln - 2 \text{ x } h}{Ln}$ x (Ve gempa kiri tumpuan positif – ve tumpuan negative) + ve tumpuan negative

$= \frac{2150 - 2 \text{ x } 250}{5450}$ x (76,473 – 14,573) + 14,573

= 62,0777 kN

Ve = 62,0777 kN (diambil nilai yang terbesar dari hasil Ve gempa)

Vc $= 0{,}17 \text{ x } 1 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d}}{1000}$

$= 0{,}17 \text{ x } 1 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 200 \text{ x } 190{,}5}{1000}$

= 35,47599 kN

ØVc = 0,75 x Vc
= 0,75 x 35,47599
= 26,607

Vs = $\frac{Ve\ Lapangan}{\emptyset}$ - Vc
= $\frac{62,0777}{0,75}$ – 35,47599
= 47,2942 kN

Dipasang sengkang 2 kaki diameter 10

Av = $\frac{1}{4}$ x π x tulangan tumpuan x diameter tumpuan^2
= $\frac{1}{4}$ x π x 2 x 10^2
= 157,08

S = $\frac{\text{Av x fyt x d}}{\text{Vs}}$
= $\frac{157,08 \text{ x } 280 \text{ x } 190,5}{47,2942 \text{ x } 1000}$
= 177,16 mm

S max = $\frac{d}{2}$
= $\frac{190,5}{2}$
= 95,25 mm

S > S max = 177,16 mm > 95,25 mm (OK)
Maka dipasang Sengkang lapangan 2D10-150

2.9.4 Perencanaan Balok Kantilever

Pada perencanaan gedung *Co-Working Lab* ini, akan memperhitungkan satu buah balok dengan momen terbesar (Balok Kantilever 200 x 300) di lantai 1.

Data Perencanaan Balok Induk (200 x 300mm) Bentang 5M

Mutu beton (f'c) = 30 Mpa

Lebar Balok (b) = 200 mm

Tinggi Balok (h) = 300 mm

Bentang Balok (L) = 2000 mm

Bentang Bersih (Ln) = 1725 mm

Selimut Beton = 40 mm

Diameter Tulangan Utama = 22 mm

Diameter Tulangan Sengkang = 10 mm

Mutu Tulangan (Fy) = 420 Mpa

β = 0,84

Tegangan Leleh = 280 Mpa

Diameter Tul Torsi = 13 mm

Tinggi efektif = 239 mm

A. Tulangan Longitudinal

a. Tulangan Negatif Tumpuan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu – Tumpuan = 53,9 kNm

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{Mu -}{\phi}$

$= \frac{53,9}{0,9}$

= 59,889 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\text{d} - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0{,}85 \text{ x } \text{fc}' x\ b}$

$= \frac{239 - \sqrt{239^2} - 2 \mid 59{,}889\ x\ 10^6 \mid}{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 200}$

= 55,601 mm

c $= \frac{\text{a}}{\beta 1}$

$= \frac{55{,}601}{0{,}84}$

= 66,192 mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{\text{d} - \text{c}}{\text{c}}\ x\ 0{,}003$

$= \frac{239 - 66{,}192}{66{,}192}\ x\ 0{,}003$

= 0,0078

Karena εs ≥ 0,005 maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

As.req $= \frac{0{,}85 \text{ x } \text{fc}' x\ a\ x\ b}{\text{fy}}$

$= \frac{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 55{,}601\ x\ 200}{420}$

= 675,155 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{\text{As.req}}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ D^2}$

$= \frac{675{,}155}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ 239^2}$

= 2 buah

As.use $= \frac{\text{n x } \pi\ x\ D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi\ x\ 22^2}{4}$

= 760,265 mm^2

As.min1 $= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{fc\prime}}{\text{fy}}\ x\ \text{b}_\text{w}\ x\ d$

$= \frac{0{,}25 \times \sqrt{30}}{420} \; x \; 200 \; x \; 239$

$= 155{,}84 \text{ mm}^2$

$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy} \; x \; b_w \; x \; d$

$= \frac{1{,}4}{420} \; x \; 200 \times 239$

$= 159{,}333 \text{ mm}^2$

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar $159{,}333 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{min}$ $= 760{,}265 \text{ mm}^2 \geq 159{,}333 \text{ mm}^2$ (OK)

$As._{max} = \frac{0{,}36 \times \beta \times fc' \times b \times d}{fy}$

$= \frac{0{,}36 \times 0{,}84 \times 30 \times 200 \times 239}{420}$

$= 1032{,}5 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{max}$ $= 760{,}265 \text{ mm}^2 \leq 1032{,}5 \text{ mm}^2$ (OK)

6) Cek spasi tulangan

$S_1 = \frac{b-(2 \times \text{selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \times \text{D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \times 40)-(2 \times 10)-(4 \times 22)}{2-1}$

$= 56$ mm

$S_{1\,min} = 25$ mm

$S_{max} = 280$ mm

S > Smin = 56 mm > 25 mm (OK)

$S_{use} = \frac{b-(2 \times \text{selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \times \text{D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2\text{x } 10)-(4 \text{ x } 22)}{2-1}$

= 62 mm

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

7) Kekuatan nominal, Mn

a $= \frac{\text{As fy}}{0{,}85 \text{ x f'c x b}}$

$= \frac{760{,}2654 \text{ x } 420}{0{,}85 \text{ x } 30 \text{ x } 200}$

= 62,6101 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{62{,}6101}{0{,}84}$

= 74,5358 mm

Mn $= As\ fy\ (d - \frac{a}{2})$

$= 760{,}2654 \text{ x } 420\ (239 - \frac{62{,}6101}{2})$

= 66319379,38 Nmm

= 66,31937938 kNm

ØMn = 0,9 x Mn

= 0,9 x 66,31937938

= 59,6874 kNm

b. Tulangan Negatif Tumpuan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu + Tumpuan = 0

$= \frac{1}{2}\ x$ Mu tumpuan −

$= \frac{1}{2}\ x\ 53{,}9$

= 26,95 kNm

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{\text{Mu}}{\phi}$

$= \frac{26,95}{0,9}$

= 29,944 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{d - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0,85 \text{ x } fc' \, x \, b}$

$= \frac{239 - \sqrt{239^2} - 2 \mid 29,944 \, x \, 10^6 \mid}{0,85 \text{ x } 30 \, x \, 200}$

= 25,9783 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{25,9783}{0,84}$

= 30,927 mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{d-c}{c} \, x \, 0,003$

$= \frac{239 - 30,927}{30,927} \, x \, 0,003$

= 0,0202

Karena $\varepsilon s \geq 0,005$ maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

$As._{req}$ $= \frac{0,85 \text{ x } fc' \, x \, a \, x \, b}{fy}$

$= \frac{0,85 \text{ x } 30 \text{ x } 25,9783 \, x \, 200}{420}$

= 315,451 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{\text{As.req}}{0,25 \text{ x } \pi \, x \, D^2}$

$= \frac{315,451}{0,25 \text{ x } \pi \, x \, 239^2}$

= 2 buah

$As._{use}$ $= \frac{n \text{ x } \pi \, x \, D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi \text{ x } 22^2}{4}$

$= 760{,}265 \text{ mm}^2$

$As._{min1} = \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{fc'}}{fy} \text{ x } b_w \text{ x } d$

$= \frac{0{,}25 \text{ x } \sqrt{30}}{420} \text{ x } 200 \text{ x } 239$

$= 155{,}84 \text{ mm}^2$

$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy} \text{ x } b_w \text{ x } d$

$= \frac{1{,}4}{420} \text{ x } 200 \text{ x } 239$

$= 159{,}333 \text{ mm}^2$

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar $159{,}333 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{min}$ = $760{,}265 \text{ mm}^2 \geq 159{,}333 \text{ mm}^2$ (OK)

$As._{max} = \frac{0{,}36 \text{ x } \beta \text{ x } fc' \text{ x } b \text{ x } d}{fy}$

$= \frac{0{,}36 \text{ x } 0{,}84 \text{ x } 30 \text{ x } 200 \text{ x } 239}{420}$

$= 1032{,}5 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{max}$ = $760{,}265 \text{ mm}^2 \leq 1032{,}5 \text{ mm}^2$ (OK)

6) Cek spasi tulangan

$S_1 = \frac{b - (2 \text{ x selimut beton}) - (2\text{x D sengkang}) - (n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200 - (2 \text{ x } 40) - (2 \text{ x } 10) - (4 \text{ x } 22)}{2-1}$

$= 56 \text{ mm}$

$S_{1\ min}$ = 25 mm

S_{max} = 280 mm

S > Smin = 56 mm > 25 mm (OK)

$S_{use} = \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2x \text{ } 10)-(4 \text{ x } 22)}{2-1}$

= 62 mm

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

7) Kekuatan nominal, Mn

a $= \frac{As\ fy}{0{,}85 \text{ x } f'c \text{ x } b}$

$= \frac{760{,}2654 \text{ x } 420}{0{,}85 \text{ x } 30 \text{ x } 200}$

= 62,6101 mm

c $= \frac{a}{\beta 1}$

$= \frac{62{,}6101}{0{,}84}$

= 74,5358 mm

Mn $= As\ fy\ (d - \frac{a}{2})$

$= 760{,}2654 \text{ x } 420\ (239 - \frac{62{,}6101}{2})$

= 66319379,38 Nmm

= 66,31937938 kNm

ØMn = 0,9 x Mn

= 0,9 x 66,31937938

= 59,6874 kNm

c. Tulangan Negatif Lapangan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu - Lapangan = 0 (didapat dari midas)

Mu - Lapangan yang digunakan $= \frac{1}{4}\ x\ Mu\ Tumpuan -$

$= \frac{1}{4}\ x\ 53{,}9$

= 13,475

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{\text{Mu} -}{\phi}$

$= \frac{13{,}475}{0{,}9}$

= 14,972 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\text{d} - \sqrt{d^2} - 2\ |\ Mn.req|}{0{,}85\ \text{x}\ \text{fc}'\ x\ b}$

$= \frac{239 - \sqrt{239^2} - 2\ |\ 14{,}972\ x\ 10^6|}{0{,}85\ \text{x}\ 30\ x\ 200}$

= 12,616mm

c $= \frac{\text{a}}{\beta 1}$

$= \frac{12{,}616}{0{,}84}$

= 15,019 mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{\text{d} - \text{c}}{\text{c}}\ x\ 0{,}003$

$= \frac{239 - 15{,}019}{15{,}019}\ x\ 0{,}003$

= 0,0447

Karena εs $\geq$ 0,005 maka direncanakan terkendali Tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

$\text{As.}_{\text{req}} = \frac{0{,}85\ \text{x}\ \text{fc}'\ x\ a\ x\ b}{\text{fy}}$

$= \frac{0{,}85\ \text{x}\ 30\ x\ 12{,}616\ x\ 200}{420}$

= 153,194 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{As.req}{0,25 \times \pi \times D^2}$

$= \frac{153,194}{0,25 \times \pi \times 239^2}$

= 2 buah

$As._{use}$ $= \frac{n \times \pi \times D^2}{4}$

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

= 760,265 mm^2

$As._{min1}$ $= \frac{0,25 \times \sqrt{fc'}}{fy} \times b_w \times d$

$= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{420} \times 200 \times 239$

= 155,84 mm^2

$As._{min2}$ $= \frac{1,4}{fy} \times b_w \times d$

$= \frac{1,4}{420} \times 200 \times 239$

= 159,333 mm^2

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar 159,333 mm^2

$As._{use} \geq As._{min}$ = 760,265 $mm^2 \geq$ 159,333 mm^2 (OK)

$As._{max}$ $= \frac{0,36 \times \beta \times fc' \times b \times d}{fy}$

$= \frac{0,36 \times 0,84 \times 30 \times 200 \times 239}{420}$

= 1032,5 mm^2

$As._{use} \geq As._{max}$ = 760,265 $mm^2 \leq$ 1032,5 mm^2 (OK)

8) Cek spasi tulangan

S_1 $= \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2 \text{ x } 10)-(4 \text{ x } 22)}{2-1}$

= 56 mm

$S_{1\ min}$ = 25 mm

S_{max} = 280 mm

S > Smin = 56 mm > 25 mm (OK)

S_{use} $= \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2x \text{ } 10)-(4 \text{ x } 22)}{2-1}$

= 62 mm

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

d. Tulangan Negatif Lapangan

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

ϕ = 0,9 (diasumsi terkendali tarik)

Mu - Lapangan = 0 (didapat dari midas)

Mu - Lapangan yang digunakan $= \frac{1}{4} \ x \ Mu \ Tumpuan -$

$= \frac{1}{4} \ x$ 53,9

= 13,475

1) Menghitung momen nominal

Mn $= \frac{Mu -}{\phi}$

$= \frac{13,475}{0,9}$

= 14,972 kNm

2) Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral

a $= \frac{\text{d} - \sqrt{d^2} - 2 \mid Mn.req \mid}{0{,}85 \text{ x } \text{fc}' x\ b}$

$= \frac{239 - \sqrt{239^2} - 2 \mid 14{,}972\ x\ 10^6 \mid}{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 200}$

= 12,616mm

c $= \frac{\text{a}}{\beta 1}$

$= \frac{12{,}616}{0{,}84}$

= 15,019 mm

3) Cek regangan tulangan

εs $= \frac{\text{d} - \text{c}}{\text{c}}\ x\ 0{,}003$

$= \frac{239 - 15{,}019}{15{,}019}\ x\ 0{,}003$

= 0,0447

Karena εs ≥ 0,005 maka direncanakan terkendali tarik

4) Menghitung kebutuhan tulangan

As.req $= \frac{0{,}85 \text{ x } \text{fc}' x\ a\ x\ b}{\text{fy}}$

$= \frac{0{,}85 \text{ x } 30\ x\ 12{,}616\ x\ 200}{420}$

= 153,194 mm^2

5) Menghitung dan control tulangan terpasang

n $= \frac{\text{As.req}}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ D^2}$

$= \frac{153{,}194}{0{,}25 \text{ x } \pi\ x\ 239^2}$

= 2 buah

As.use $= \frac{\text{n x } \pi\ x\ D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi\ x\ 22^2}{4}$

= 760,265 mm^2

$As._{min1} = \frac{0{,}25 \times \sqrt{fc'}}{fy} \; x \; b_w \; x \; d$

$= \frac{0{,}25 \times \sqrt{30}}{420} \; x \; 200 \; x \; 239$

$= 155{,}84 \text{ mm}^2$

$As._{min2} = \frac{1{,}4}{fy} \; x \; b_w \; x \; d$

$= \frac{1{,}4}{420} \; x \; 200 \times 239$

$= 159{,}333 \text{ mm}^2$

$As._{min}$ = $As._{min}$ diambil yang terbesar $159{,}333 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{min}$ = $760{,}265 \text{ mm}^2 \geq 159{,}333 \text{ mm}^2$ (OK)

$As._{max} = \frac{0{,}36 \times \beta \times fc' \times b \times d}{fy}$

$= \frac{0{,}36 \times 0{,}84 \times 30 \times 200 \times 239}{420}$

$= 1032{,}5 \text{ mm}^2$

$As._{use} \geq As._{max}$ = $760{,}265 \text{ mm}^2 \leq 1032{,}5 \text{ mm}^2$ (OK)

6) Cek spasi tulangan

$S_1 = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2x \text{ D sengkang}) - (n \times \text{D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{2-1}$

$= 56$ mm

$S_{1\,min}$ = 25 mm

S_{max} = 280 mm

S > Smin = 56 mm > 25 mm (OK)

S_{use} $= \frac{b-(2 \text{ x selimut beton})-(2x \text{ D sengkang})-(n \text{ x D tul utama})}{n-1}$

$= \frac{200-(2 \text{ x } 40)-(2x \text{ } 10)-(4 \text{ x } 22)}{2-1}$

= 62 mm

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

B. Tulangan Torsi

Tu hasil analisis midas = 40 kNm

Vu hasil analisis midas = 4,6 kN

Acp = b x h

= 200 x 300

= 60000

Pcp = 2 x (b + h)

= 2 x (200 + 300)

= 1000

ΦT th $= \frac{0{,}75 \; x \; 0{,}083 \; x \; 1 \; x \; \sqrt{f'c} \; x \; Acp^2}{Pcp}$

$= \frac{0{,}75 \; x \; 0{,}083 \; x \; 1 \; x \; \sqrt{30} x \; 60000^2}{1000}$

= 1,227 kNm

x_1 $= \frac{b- \; 2 \; x \; (selimut \; beton \; + diameter \; tulangan \; sengkang)}{2}$

$= \frac{200- \; 2 \; x \; (40 \; +10)}{2}$

= 110 mm

y_1 $= \frac{h- \; 2 \; x \; (selimut \; beton \; + diameter \; tulangan \; sengkang)}{2}$

$= \frac{300- \; 2 \; x \; (40 \; +10)}{2}$

= 210 mm

Aoh $= x_1 \text{ x } y_1$

$= 110 \text{ x } 210$

$= 23100 \text{ mm}^2$

Ao $= 0{,}85 \text{ x Aoh}$

$= 0{,}85 \text{ x } 23100$

$= 19635 \text{ mm}^2$

Ph $= 2 \text{ x } (x_1 + y_1)$

$= 2 \text{ x } (110 + 210)$

$= 640 \text{ mm}$

Vc $= 0{,}17 \text{ x } 1 \text{ x } \sqrt{f'c} \text{ x b x d}$

$= 0{,}17 \text{ x } 1 \text{ x } \sqrt{30} \text{ x } 200 \text{ x } 239$

$= 44507{,}93502 \text{ N}$

$= 44{,}50793502 \text{ kN}$

Batasan 1 $= \frac{\sqrt{Vu\ x\ 1000}}{\text{b x } d^2} + \left(\frac{\text{Tu x } 10^{\,6} \text{x Ph}}{(1{,}7 \text{ x } Aoh^2)^2}\right)$

$= \frac{\sqrt{40x\ 1000}}{200 \text{ x } 239^2} + \left(\frac{0{,}8 \text{ x } 10^{\,6} \text{x } 640}{(1{,}7 \text{ x } 23100^2)^2}\right)$

$= 3{,}352 \text{ N/mm}^2$

Batasan 2 $= 0{,}75 \frac{Vc\ x\ 1000}{(\text{b x d}) + 0{,}66 \text{ x } \sqrt{f'c}}$

$= 0{,}75 \frac{44{,}50793502\ \ x\ 1000}{(200 \text{ x } 239) + 0{,}66 \text{ x } \sqrt{30}}$

$= 3{,}41 \text{ N/mm}^2$

Tn $= \frac{Tu\ x\ 10^6}{0{,}75}$

$= \frac{4{,}6\ x\ 10^6}{0{,}75}$

$= 6133333 \text{ Nmm}$

~~θ~~ $= 45^o$

$\frac{At}{s}$ $= \frac{Tn}{2\ x\ Ao\ x\ fyt\ x\ COT(RADIANS(45)}$

$= \frac{6133333}{2\ x\ 19635\ x\ 280\ x\ COT(RADIANS(45)}$

$= 0{,}558\ mm^2/mm$

Tulangan Torsi Transversal Tumpuan

ØVs $= Vu - (0{,}75\ x\ Vc)$

$= 40 - (0{,}75\ x\ 44{,}50793502)$

$= 6{,}619$ kN

Vs $= \frac{ØVs}{0{,}75}$

$= \frac{6{,}619}{0{,}75}$

$= 8{,}82533$ kN

$\frac{Av}{s}$ $= \frac{Vs\ x\ 1000}{fyt\ x\ d}$

$= \frac{8{,}82533\ x\ 1000}{280\ x\ 239}$

$= 0{,}13188\ mm^2/mm$

$\frac{Ask}{s}$ req $= \frac{At}{s} + \frac{Av}{s}$

$= 0{,}558 + 0{,}13188$

$= 1{,}248\ mm^2/mm$

Ask.use $= \frac{1\ x\ \pi\ diameter\ tul\ sengkang^2}{4}$

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

$= 78{,}54$

s $= 2\ x\ \frac{Ask.use}{\frac{Ask}{s}req}$

$= 2\ x\ \frac{78{,}54}{1{,}248}$

$= 125{,}87$ mm

s max $= \frac{Ph}{8}$

$= \frac{640}{8}$

$= 80$ mm

s pakai $= 75$ mm

As min1 $= \frac{0{,}062 \; x \; \sqrt{f'c} \; x \; b \; x \; s \; use}{fyt}$

$= \frac{0{,}062 \; x \; \sqrt{30} \; x \; 200 \; x \; 75}{280}$

$= 18{,}192$ mm^2

As min 2 $= \frac{0{,}35 \; x \; b \; x \; S \; use}{fyt}$

$= \frac{0{,}35 \; x \; 200 \; x \; 75}{280}$

$= 18{,}75$ mm^2

Al $= \frac{\frac{At}{s} \; x \; Ph \;\; x \; \theta \; x \; fyt}{fy \; x \; COT(RADIANS(\theta)^2}$

$= \frac{0{,}07 \; x \; 640 \;\; x \; 45 \; x \; 280}{420 \; x \; COT(RADIANS(45)^2}$

$= 238{,}08$ mm^2

Al min $= \frac{0{,}42 \; x \; \sqrt{f'c} \; x \; Acp}{fy - \frac{At}{s} \; x \; Ph \; x \; \frac{fyt}{fy}}$

$= \frac{0{,}42 \; x \; \sqrt{30} \; x \; 60000}{420 - 0{,}558 \; x \; 640 \; x \; \frac{280}{420}}$

$= 90{,}5535$ mm^2

AI use $=$ *dipilih yang paling besar dari AI dan AI min*

$= 238{,}08$ mm^2

Tulangan Torsi Longitudinal Tumpuan

Sisi Atas $= As._{req} + \frac{AI}{4}$

$= 675{,}155 + \frac{238{,}08}{4}$

$= 734{,}675$ mm^2

n terpasang $= \frac{\text{sisi atas}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{734{,}675}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 22^2}$

$= 1{,}93268$

$= 2$

Sisi Bawah $= As._{req} + \frac{AI}{4}$

$= 315{,}451 + \frac{238{,}08}{4}$

$= 374{,}971\ mm^2$

n terpasang $= \frac{\text{sisi bawah}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{374{,}971}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 22^2}$

$= 0{,}98642$

$= 2$

Torsi $= \frac{\text{AI use}}{2}$

$= \frac{238{,}08}{2}$

$= 119{,}04\ mm^2$

n terpasang $= \frac{\text{Torsi}}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{119{,}04}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 13^2}$

$= 0{,}89684$

$=2$

Maka didapatkan tulangan sebagi berikut :

Tulangan atas = 2D-22

Tulangan bawah = 2D-22

Torsi = 2D-13

C. Tulangan Transversal

Data Perencanaan Balok Kantilever (200 x 300mm) Bentang 5m

Tabel 2. 16 Tulangan Longitudinal Balok Kantilever (200 x 300mm)

	Kiri	Kanan
Atas	2	2
Bawah	2	2

c. Tumpuan Kiri

1) Momen ujung tumpuan kiri positif (MPr_1)

Tulangan atas = 2D22

As use $= \frac{\text{n x } \pi \text{ x } D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi \text{ x } 22^2}{4}$

$= 760{,}2654 \text{ mm}^2$

Apr $= \frac{\text{As x } 1{,}25 \text{ x fy}}{0{,}85\text{x Fc}' \text{x b}}$

$= \frac{760{,}2654 \text{ x } 1{,}25 \text{ x } 420}{0{,}85 \text{ x } 30 \text{ x } 200}$

$= 78{,}263$ mm

Mpr_1 $= \text{As x } 1{,}25 \text{ x fy } (d - \frac{apr}{2})$

$= 760{,}2654 \text{ x } 1{,}25 \text{ x } 420 \ (239 - \frac{58{,}374}{2})$

$= 79{,}775$ kNm

2) Momen ujung tumpuan kiri positif (MPr_2)

Tulangan bawah = 2D22

As use $= \frac{\text{n x } \pi \text{ x } D^2}{4}$

$= \frac{2 \text{ x } \pi \text{ x } 22^2}{4}$

$= 760{,}2654 \text{ mm}^2$

Apr $= \frac{As \times 1{,}25 \times fy}{0{,}85 \times Fc' \times b}$

$= \frac{760{,}2654 \times 1{,}25 \times 420}{0{,}85 \times 30 \times 200}$

= 78,263 mm

Mpr_1 $= As \times 1{,}25 \times fy \left(d - \frac{apr}{2}\right)$

$= 760{,}2654 \times 1{,}25 \times 420 \left(239 - \frac{58{,}374}{2}\right)$

= 79,775 kNm

3) Gaya geser gempa akibat sendi plastis

Ve $= \frac{Mpr1 + Mpr2}{Ln}$

$= \frac{79{,}775 + 79{,}775}{1725/1000}$

= 92,493 kN

4) Gaya geser akibat beban gravitasi

(Tumpuan -)

Vg = 34,9 kN

(Tumpuan +)

Vg = 34,9 kN

5) Gaya geser desain

(Tumpuan -)

Ve1 gempa kiri = Vg – Ve1

= 34,9 – 92,493

= - 57,593 kN

Ve1 gempa kanan = Vg + Ve1

= 34,9 + 92,493

= 127,393 kN

(Tumpuan +)

Ve1 gempa kiri = Vg + Ve1

= 34,9 + 92,493

= 127,393 kN

Ve1 gempa kanan = Vg – Ve1

= 34,9 – 92,493

= - 57,593 kN

6) Tulangan geser

Tumpuan -

Gaya geser akibat gempa :

Vs = 127,393 kN

Vs maks $= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d tulangan transversal}}{1000}$

$= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 200 \text{ x } 239}{1000}$

= 172,796 kN

Direncanakan diameter 10 mm

As $= 2\,\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } D^2$

$= 2\,\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } 10^2$

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

Tumpuan +

Gaya geser akibat gempa :

Vs = 127,393 kN

Vs maks $= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d tulangan transversal}}{1000}$

$= 0{,}66 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 200 \text{ x } 239}{1000}$

= 172,796 kN

Direncanakan diameter 10 mm

As $= 2\,\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } D^2$

$= 2\,\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } 10^2$

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

7) Cek spasi :

Tumpuan -

S $= \frac{As \text{ x fyt x d tulangan transversal}}{\text{Vs x } 1000}$

$= \frac{157{,}08 \text{ x } 280 \text{ x } 239}{172{,}796 \text{ x } 1000}$

= 82,515 mm

S maks = 6 x diameter tulangan utama

= 6 x 22

= 132 mm

S < S max = 82,515 mm > 132 mm (OK)

Dipasang 2D10-50

Tumpuan +

S $= \frac{As \text{ x fyt x d tulangan transversal}}{Vs \text{ x } 1000}$

$= \frac{157{,}08 \text{ x } 280 \text{ x } 239}{172{,}796 \text{ x } 1000}$

= 82,515 mm

S maks = 6 x diameter tulangan utama

= 6 x 22

= 132 mm

S < S max = 82,515 mm < 132 mm (OK)

Dipasang 2D10-50

d. Lapangan

Ve1 gempa kiri $= \frac{Ln - 2 \text{ x } h}{Ln}$ x (Ve gempa kiri tumpuan positif – ve tumpuan negative) + ve tumpuan negative

$= \frac{1725 - 2 \text{ x } 300}{1725}$ x (127,393 – 57,593) + 57,593

= 103,1147 kN

Ve1 gempa kanan $= \frac{Ln - 2 \text{ x } h}{Ln}$ x (Ve gempa kiri tumpuan positif – ve tumpuan negative) + ve tumpuan negative

$= \frac{1725 - 2 \text{ x } 300}{1725}$ x (127,393 – 57,593) + 57,593

= 103,1147 kN

Ve = 103,1147 kN (diambil nilai yang terbesar dari hasil Ve gempa)

Vc $= 0{,}17 \text{ x } 1 \text{ x } \frac{\sqrt{f'c} \text{ x b x d}}{1000}$

$= 0{,}17 \text{ x } 1 \text{ x } \frac{\sqrt{30} \text{ x } 200 \text{ x } 239}{1000}$

= 44,5079 kN

ØVc = 0,75 x Vc
= 0,75 x 44,5079
= 33,38095

Vs = $\frac{Ve\ Lapangan}{\emptyset}$ - Vc
= $\frac{103,1147}{0,75}$ – 44,5079
= 92,9784 kN

Dipasang sengkang 2 kaki diameter 10

Av = $\frac{1}{4}$ x π x tulangan tumpuan x diameter tumpuan^2
= $\frac{1}{4}$ x π x 2 x 10^2
= 157,08

S = $\frac{\text{Av x fyt x d}}{\text{Vs}}$
= $\frac{157,08 \text{ x } 280 \text{ x } 239}{92,9784 \text{ x } 1000}$
= 113,0561 mm

S max = $\frac{d}{2}$
= $\frac{239}{2}$
= 119,5 mm

S < S max = 113,0561 mm < 119,5 mm (OK)
Maka dipasang Sengkang lapangan 2D10-100

2.10 Perencanaan Kolom

Kolom dirancang sesuai dengan ketentuan Sistem Pemikul Rangka Momen Khusus (SRPMK). Penulangan kolom dilakukan setelah mendapat gaya-gaya dalam yang terjadi pada analisa struktur utama dari hasil analisa struktur dengan bantuan program Midas Gen.

2.10.1 Perencanaan Kolom K1 *Basement*

Data perencanaan kolom K1 *Basement* dengan ukuran 550 mm x 550 mm dengan tinggi 3,5 m sebagai berikut:

- Mutu beton (f'c) = 30 Mpa
- Dimensi kolom = 550 mm x 550 mm
- Selimut kolom = 40 mm
- Tinggi kolom (l) = 3500 mm
- Tinggi bersih kolom (ln) = 3000 mm
- D. tulangan longtudinal = 22 mm
- fy = 420 Mpa
- D. tulangan transversal = 13 mm
- fyt = 420 Mpa
- d = 550 - 40 - 13/2 = 503,5 mm

Berikut adalah hasil analisis struktur kolom:

Pu kolom atas	= 1645 kN
Mx atas	= 0 kNm
My atas	= 0 kNm
Pu kolom desain	= 2223,2 kN
Mx desain	= 292,7 kNm
My desain	= 0 kNm

Vu = 148,9 kN

Nu (komb. aksial kecil) = 770,7 kN

Batasan Dimensi

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 2847:2019 18.7.2.1a)

  Sisi terpendek = b = 550 mm > 300 mm (OK)

- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI 2847:2019 18.7.2.1b)

  $\frac{b}{h} = \frac{550}{550} = 1 > 0{,}4\ (OK)$

1. Estimasi Tulangan Longitudinal

Rasio tulangan longitudinal ρ dibatasi tidak boleh kurang dari 0.01 dan tidak boleh lebih dari 0.06 (SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1). Untuk estimasi awal digunakan tulangan 16D22.

Data tulangan kolom longitudinal:

Diameter = 22 mm

Jumlah = 16 buah

As = 16 x 0,25π x 22^2 = 6082,12 mm^2

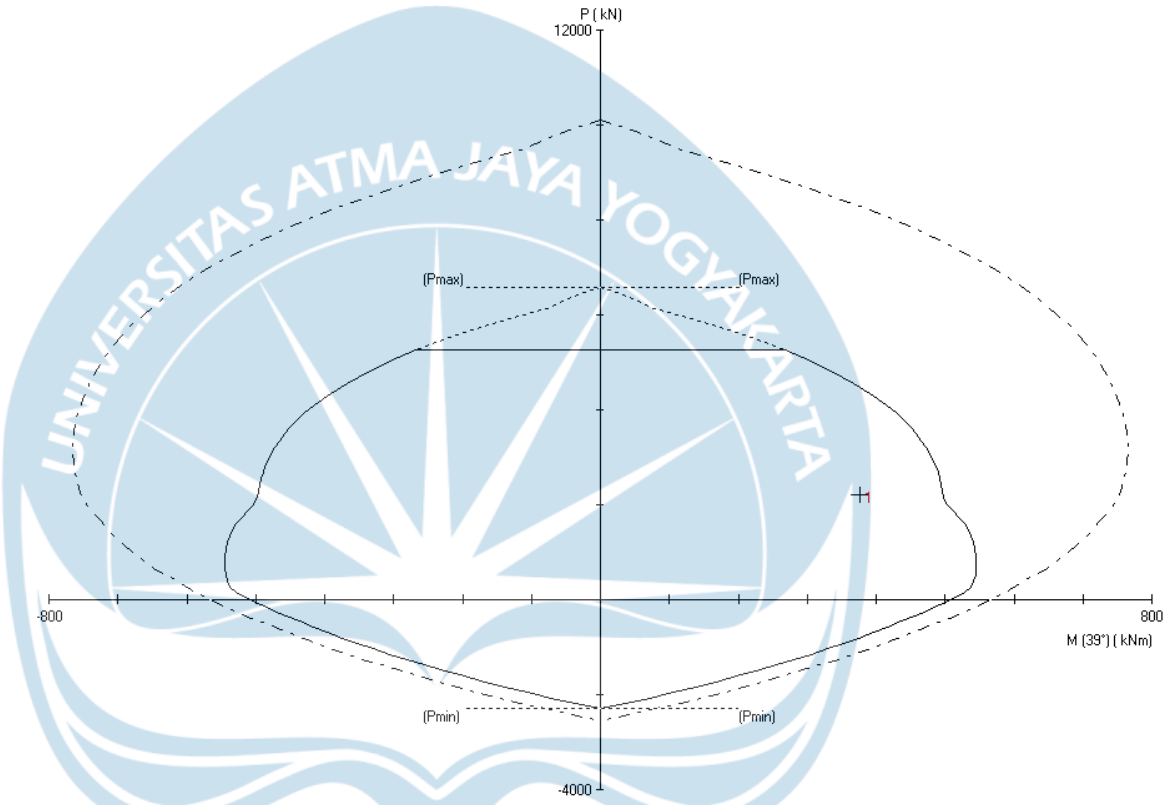
Ag = 550 x 550 = 302500 mm^2

$\rho = \frac{As}{Ag} = \frac{6082{,}12}{302500} = 0{,}0201$

0.01 < ρ < 0.06 (OK)

Kuat Kolom Rencana

Dilakukan perhitungan kuat kolom rencana dengan bantuan program spcolumn dan didapatkan hasil seperti berikut:



Gambar 2. 14 Detail SP Column

Kolom sudah kuat menahan interaksi gaya axial ultimate Pu dan momen ultimate arah X dan Y.

2. Cek Syarat *Strong Column Weak Beam*

Kuat lentur kolom harus memenuhi ΣMnk ≥ 1.2 ΣMnb (SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2). Karena kolom berbentuk persegi, momen nominal kolom arah X dan arah Y sama.

Hasil perhitungan momen nominal kolom :

No	Pu	Mux	Muy	ϕMnx	ϕMny	ϕMn/Mu	NA Depth	dt Depth	εt	ϕ
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		

Gambar 2. 15 Hasil perhitungan momen nominal

Φ Mn kolom x = 386,33 kNm

Φ kolom x = 0,65

Φ Mn kolom y = 313.21 kNm

Φ kolom y = 0,65

Mn kolom x = 386,33/0,65 = 594,35 kNm

Mn kolom y = 313,21/0,65 = 481,86 kNm

ΣMn kolom = 594,35 + 481,86 = 1076,21 kNm

Tinjau Arah X dan Y

Balok dengan dimensi 350x500 dan 350x500 menumpu pada arah X kolom.

Mnb^{-} 350x500 = 469,32 kNm

Mnb^{+} 350x500 = 257,51 kNm

ΣMn kolom = 1856,12 kNm

1,2 ΣMn balok = 1,2 (469,32 + 257,51) = 872,19 kNm

ΣMn kolom > 1,2 ΣMn balok (OK)

3. Perhitungan Tulangan Transversal

a. Tulangan di Daerah Sendi Plastis (lo)

bc = bw - (2 x selimut beton)

= 550 - (2 x 40)

= 470 mm

Ag = 550 x 550 = 302500 mm^2

Ach = 470 x 470 = 220900 mm^2

0,3 f'c Ag = 0,3 x 30 x 302500 = 2722500 N

Pu = Pu desain x 1000

= 2223,2 x 1000

= 2223200 N

Pu > 0,3f'cAg

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4 karena Pu > 0,3f'cAg maka:

$$\frac{A_{sh}}{s\ bc}(1) = 0{,}3\left(\frac{Ag}{Ach} - 1\right)\left(\frac{f'c}{fyt}\right) = 0{,}3\left(\frac{302500}{220900} - 1\right)\left(\frac{30}{420}\right)$$

$$= 0{,}0079\ mm^2/mm$$

$$\frac{A_{sh}}{s\ bc}(2) = 0{,}09\left(\frac{f'c}{fyt}\right) = 0{,}09\left(\frac{30}{420}\right) = 0{,}0064\ mm^2/mm$$

$$kf = \frac{f'c}{175} + 0{,}6 = \frac{30}{175} + 0{,}6 = 0{,}77 < 1$$

kf = 1

nl = 16 buah

$$kn = \frac{nl}{nl - 2} = \frac{16}{16 - 2} = 1{,}1$$

Jadi diambil nilai terbesar Ash/s.bc = 0,0079 mm^2/mm

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0{,}0079\ x\ 470 = 3{,}713\ \text{mm2/mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2.f setiap batang tulangan longitudinal harus memiliki tumpuan lateral, baik oleh sudut sengkang pengekang atau kait gempa, maka jumlah kaki = 3.

D sengkang = 13 mm

Ash = 3 x 0,25π x 13^2 = 398,197 mm^2

S $= \frac{Ash}{Ash/s} = \frac{398,197}{3,713} = 107,244\ mm$

Jarak spasi maksimum menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, adalah nilai terkecil dari:

s1 = 1/4 x 550 = 137,5 mm

s2 = 6 x 22 = 132 mm

$s = \frac{550 - 2x40 - 2x13 - 22}{16/4} = 105,5\ mm$

$s3 = 100 + \frac{350 - 2\ x\ 105,5}{3} = 146,3\ mm$

s pakai = 100 mm

Maka digunakan tulangan transversal 3D - 100 didaerah sendi plastis (lo).

Panjang Sendi Plastis

Berdasrkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1, nilai lo dipilih terbesar antara:

lo_1 = sisi terlebar kolom = 550 mm

lo_2 = 1/6 ln = 1/6 x 3000 = 500 mm

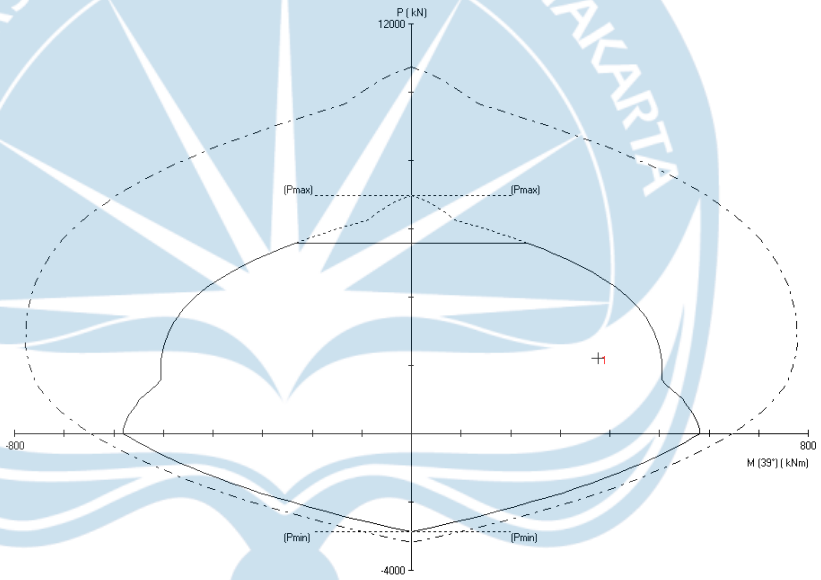
lo_3 = 450 mm

maka lo = 550 mm

Diambil nilai lo = 650 mm > 550 mm (OK)

b. Kuat Geser Kolom

Nilai Mpr kolom diambil dari nilai momen nominal kemungkinan terbesar dengan fy diperbesar 1,25fy. Nilai Mpr kolom yang didapatkan dari program SPcolumn sebagai berikut:



Gambar 2. 16 Hasil Desain SP column

Mpr kolom = 778 kNm

$Mprb^-$ 350x500 = 516,577 kNm

$Mprb^+$ 350x500 = 293,989 kNm

ΣMpr balok = 516,577 + 293,989 = 810,566 kNm

Karena penampang kolom atas dan bawah sama tapi tinggi berbeda, maka untuk mencari faktor distribusi momen atas:

$$DF_{atas} = \frac{1/3{,}5}{1/4 + 1/3{,}5} = 0{,}533$$

Ve berdasarkan Mpr kolom:

$$Ve(1) = \frac{Mprk\ bawah\ + Mprk\ atas}{ln} = \frac{432{,}275 + 778}{3} = 403{,}4249\ kN$$

Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan joint berdasarkan Mpr balok yang merangka ke joint (SNI 2047:2019 pasal 18.7.6.1.1). Khusus kolom lantai 1 digunakan Mpr kolom pada joint bawah karena tidak ada balok yang merangka.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.2.1, Vc dianggap 0 apabila:

- Ve > 1/2xVu as

  Ve = 403,4249 kN > 1/2x148,9

  Ve = 403,4249 kN > 74,45 kN (OK)
- Pu < Ag f'c /20

  Ag f'c /20 = 302500 x 30 / 20 = 453750 N = 453,7 kN

  Pu = 2223,2 kN > 453,7 kN (Not OK)

Maka Vc dihitung:

Nu = 770,7 kN

$$Vc = 0{,}17\left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right)\lambda\sqrt{f'c}\ bw\ d$$

$$= 0{,}17\left(1 + \frac{770{,}7x1000}{14\ x\ 302500}\right)1\ \sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5$$

= 304777,65 N

= 304,7777 kN

ΦVc = 0,75 x 304,7777 = 228,6 kN

Vu = Ve = 403,4249 kN

Vu > ΦVc, maka Vs dihitung *(SNI 2847:2019 22.5.10.1)*

$$Vs = \frac{Vu}{\Phi} - Vc = \frac{403{,}4249}{0{,}75} - 304{,}7777 = 233{,}122\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{\text{fyt d}} = \frac{233{,}122\ x\ 1000}{420\ x\ 503{,}5} = 1{,}1024\ mm^2/mm$$

$0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$ = 0,33 x $\sqrt{30}$ x 550 x 503,5 = 500538 N = 500,54 kN

Vs = 318,9 < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika Vs < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$, maka:

s max = d/2 = 453,5/2 = 251,75 mm

s pakai = 100 mm

s pakai < smax = 100 < 251,75 mm (OK)

Av = 1,1024 x 100 = 110,24 mm^2

0,5ΦVc = 0,5 x 0,75 x 304,7777

= 114,292 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika Vu = 467,7583 kN > 0,5 ΦVc, maka Av min dihitung dari yang terbesar dari:

$$Av\ min1 = 0{,}062\sqrt{f'c}\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}062\sqrt{30}\frac{550\ x\ 100}{420} = 44{,}4699\ mm^2$$

$$Av\ min2 = 0{,}35\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}35\frac{550\ x\ 100}{420} = 45{,}8333\ mm^2$$

Av min = 45,8333 mm^2

Luas tulangan transversal yang dipakai:

Av req = 110,24 mm^2

Av pakai = 3 x 0,25π x 13^2 = 398,1969 mm^2 > Av req (OK)

Maka tulangan transversal di daerah sendi plastis tetap menggunakan 3 kaki D13-100 mm.

c. Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis (luar lo)

Nu = 770,7 kN

$$Vc = 0{,}17 \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \lambda \sqrt{f'c}\ bw\ d$$

$$= 0{,}17 \left(1 + \frac{770{,}7}{14\ x\ 302500}\right) 1\ \sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5$$

= 304777,6503 N

= 304,7777 kN

Vu = Ve = 403,4249 kN

ΦVc = 0,75 x 304,7777 = 228,583 kN

Vu = 403,4249 kN > ΦVc, maka Av dihitung *(SNI 2847:2019 22.5.10.1)*

$$Vs = \frac{Vu}{\Phi} - Vc = \frac{403{,}4249}{0{,}75} - 304{,}7777 = 233{,}122\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{\text{fyt d}} = \frac{233{,}122\ x\ 1000}{420\ x\ 503{,}5} = 1{,}1024\ mm^2/mm$$

Av pakai = 2 x 0,25π x 13^2 = 265,4646 mm^2

s = 265,4646 / 1,1024 = 240,806 mm

$0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d = 0{,}33\ x\ \sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5$ = 500537,63 N = 500,54 kN

Vs = 233,122 < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika Vs < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$, maka:

s max = d/2 = 503,5/2 = 251,75 mm

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.5 jarak tulangan tidak perlu melebihi nilai terkecil dari:

s1 = 6 D.longitudinal = 6 x 22 = 132 mm

s2 = 150 mm

Maka digunakan jarak tulangan transversal yang digunakan s = 125 mm

0,5ΦVc = 114,292 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika Vu = 403,4249 kN > 0,5 ΦVc, maka Av min dihitung dari yang terbesar dari:

$$Av\ min1 = 0{,}062\sqrt{f'c}\,\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}062\sqrt{30}\,\frac{550\ x\ 225}{420} = 100{,}0572\ mm^2$$

$$Av\ min2 = 0{,}35\,\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}35\,\frac{550\ x\ 225}{420} = 103{,}125\ mm^2$$

Av min = 100,0572 mm

Av pakai = 2 x 0,25π x 13^2 = 265,4646 mm^2 > Av min (OK)

Maka tulangan transversal di luar daerah sendi plastis (luar lo) digunakan 2 kaki D13-125 mm.

4. Hubungan Balok Kolom

Data perencanaan:

Tinggi balok (h) = 500 mm

Lebar balok (b) = 350 mm

Ash/s = 3,713 mm^2 /mm

Jumlah Tump (–) = 8 buah

As Tump (–) = 3041,0617 mm^2

Jumlah Tump (+) = 4 buah

As Tump (+) = 1520,5308 mm^2

Mpr (–) = 516,577 kNm

Mpr (+) = 293,989 kNm

a. Penentuan Dimensi Joint (Aj)

lebar balok (b) = 350 mm

Tinggi joint (h) = h kolom = 550 mm

x = (h - b)/2 = (550 - 350)/2 = 100 mm

b+h = 350 + 550 = 900 mm

b+2x = 350 + 2(100) = 550 mm

b+h > b+2x

Lebar efektif = b + 2x = 550 mm

Luas joint efektif (Aj) = lebar efektif x tinggi joint = 550 x 550 = 302500 mm^2

b. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.3.2, kebutuhan tulangan dapat dikurangi setengah dan spasi bisa ditingkatkan hingga 150 mm jika:

- Terdapat balok yang merangka pada keempat sisi HBK (OK)
- Lebar balok setidaknya 3/4 lebar kolom

  Lebar balok = 350 mm

  3/4 b kolom = 3/4 x 550 = 412,5 mm

  Lebar balok < 3/4 lebar kolom (Not OK)

Maka kebutuhan tulangan transversal di HBK tetap sama seperti yang digunakan di daerah sendi plastis kolom.

$\frac{A_{sh}}{s} = 3{,}713\ mm^2/\text{mm}$

s pakai = 100 mm

jumlah kaki = 3 kaki

D transversal = 13 mm

Ash req = 3,713 x 100 = 371,3 mm^2

Ash pakai = 3 x 0,25π x 13^2 = 398.197 mm^2

Ash pakai > Ash req (OK)

Maka digunakan 3 kaki tulangan D13-100 mm di HBK

c. Gaya Geser Pada Joint

$Mprb^-$ ki = 516,577 kNm

$Mprb^+$ ka = 293,989 kNm

ΣMpr balok = 516,577 + 293,989 = 810,566 kNm

Karena penampang sama tapi tinggi berbeda, maka faktor distribusi di kolom atas dan kolom bawah hbk menjadi:

$DF\ atas = \frac{1/3{,}5}{1/4 + 1/3{,}5} = 0{,}533$

$DF\ bawah = \frac{1/4}{1/4 + 1/4} == 0{,}5$

Me1 = ΣMpr balok x DF atas

= 810,566 x 0,533

= 432,275 kNm

Me2 = ΣMpr balok x DF bawah

= 810,566 x 0,5

= 405,283 kNm

$$Vsway = \frac{DF\ atas\ x\ \Sigma\text{Mprb}\ +\ DF\ bawah\ x\ \Sigma\text{Mprb}}{ln\ kolom\ atas}$$

$$= \frac{0{,}533\ x\ 810{,}566\ + 0{,}467\ x\ 810{,}566}{3}$$

= 279,186 kNm

Gaya tarik tulangan atas kiri HBK:

As^- ki = 3041,0617 mm^2

T1 = 1,25 As fy = 1,25 x 3041,0617 x 420 = 1596557,4 N = 1596.56 kN

Gaya tekan di sisi kiri HBK:

C1 = T1 = 1596,56 kN

Gaya tarik tulangan bawah di sisi kanan HBK:

As^+ ka = 1520,5308 mm^2

T2 = 1,25 As fy = 1,25 x 1520,5308 x 420 = 798278,67 N = 798,28 kN

Gaya tekan di sisi kanan HBK:

C2 = T2 = 798,28 kN

Vj = T1 + C2 - Vsway

= 1596,56 + 798,28 - 279,186

= 2115,65 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.1, kuat geser HBK yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya:

Vn = $1{,}7\lambda\sqrt{f'c}$ Aj

= 1,7 x 1 x $\sqrt{30}$ x 302500

= 2816663,3 N

ΦVn = 0,85 x 2816663,3= 2394163,764 N = 2394,16 kN

ΦVn = 2394,16 kN > Vj = 2115,65 kN (OK)

Maka dimensi pada HBK mencukupi dan dipasang tulangan transversal 3 kaki D13 jarak 100 mm.

2.10.2 Perencanaan Kolom K1 Lantai 1

Data perencanaan kolom K1 lantai 1 dengan ukuran 550 mm x 550 mm dengan tinggi 4 m sebagai berikut:

- Mutu beton (f'c) = 30 Mpa
- Dimensi kolom = 550 mm x 550 mm
- Selimut kolom = 40 mm
- Tinggi kolom (l) = 4000 mm
- Tinggi bersih kolom (ln) = 3500 mm
- D. tulangan longtudinal = 22 mm
- fy = 420 Mpa
- D. tulangan transversal = 13 mm
- fyt = 420 Mpa
- d = 550 - 40 - 13/2 = 503,5 mm

Berikut adalah hasil analisis struktur kolom:

Pu kolom desain = 1645 kN
Mx desain = 302,3 kNm
My desain = 221,6 kNm
Vu = 147,6 kN
Nu (komb. aksial kecil) = 606,2 kN

Batasan Dimensi

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 2847:2019 18.7.2.1a)

Sisi terpendek = b = 550 mm > 300 mm (OK)

- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI 2847:2019 18.7.2.1b)

$$\frac{b}{h} = \frac{550}{550} = 1 > 0{,}4\ (OK)$$

1. Estimasi Tulangan Longitudinal

Rasio tulangan longitudinal ρ dibatasi tidak boleh kurang dari 0.01 dan tidak boleh lebih dari 0.06 (SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1). Untuk estimasi awal digunakan tulangan 16-D22.

Data tulangan kolom longitudinal:

Diameter = 22 mm

Jumlah = 16 buah

As = 16 x 0,25π x 22^2 = 6082,12 mm^2

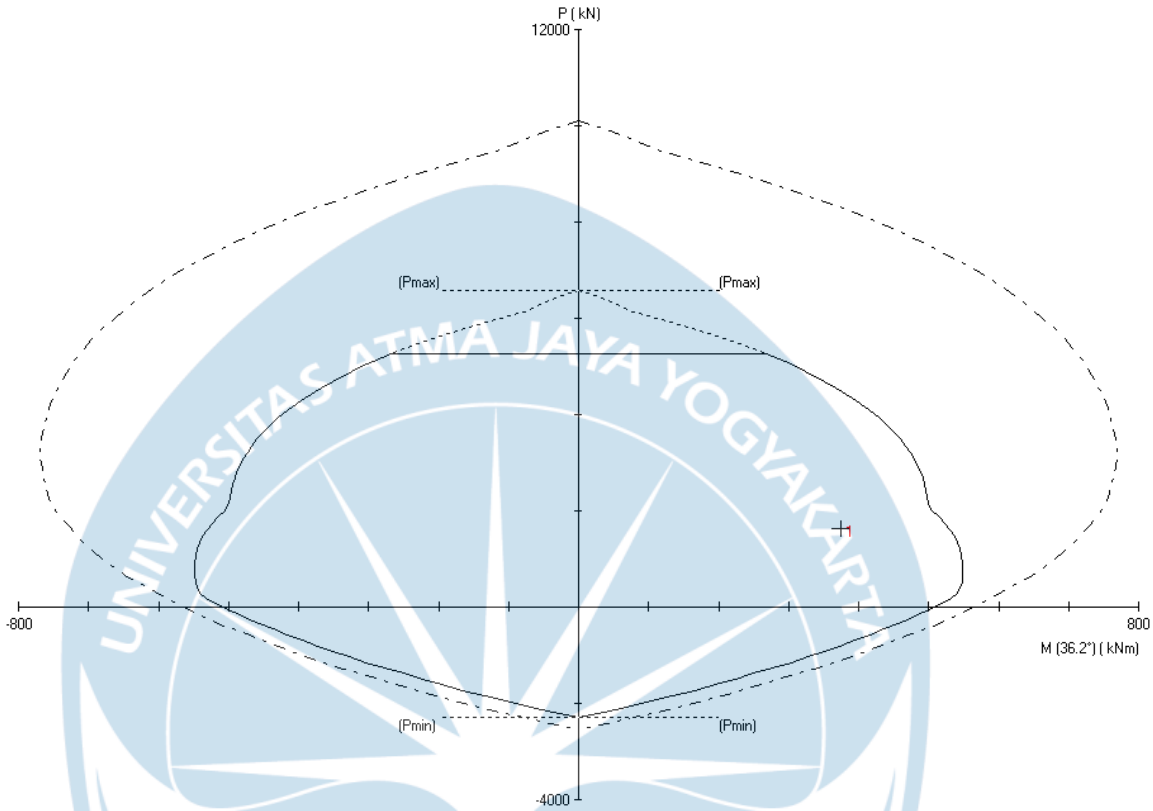
Ag = 550 x 550 = 302500 mm^2

$$\rho = \frac{As}{Ag} = \frac{6082{,}12}{302500} = 0{,}0201$$

0.01 < ρ < 0.06 (OK)

Kuat Kolom Rencana

Dilakukan perhitungan kuat kolom rencana dengan bantuan program spcolumn dan didapatkan hasil seperti berikut:



Gambar 2. 17 Hasil Desain SP column

Kolom sudah kuat menahan interaksi gaya axial ultimate Pu dan momen ultimate arah X dan Y.

2. Cek Syarat *Strong Column Weak Beam*

Kuat lentur kolom harus memenuhi ΣMnk ≥ 1.2 ΣMnb (SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2). Karena kolom berbentuk persegi, momen nominal kolom arah X dan arah Y sama.

Hasil perhitungan momen nominal kolom :

No	Pu	Mux	Muy	ϕMnx	ϕMny	ϕMn/Mu	NA Depth	dt Depth	εt	ϕ
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
1	1645.00	302.30	221.60	426.61	312.72	1.411	370	697	0.00265	0.698

Gambar 2. 18 Detail hitungan SP column

ΦMn kolom x = 426,61 kNm

Φ kolom x = 0,698

ΦMn kolom y = 312,72 kNm

Φ kolom y = 0,698

Mn kolom x = 426,61 / 0,698= 611,19 kNm

Mn kolom y = 312,72 / 0,698= 448,02 kNm

ΣMn kolom = 611,19 + 448,02 = 1059,21 kNm

Tinjaun Arah X dan Y

Balok dengan dimensi 350x500 dan 350x500 menumpu pada arah X kolom.

Mnb^- 350x500 = 469,32 kNm

Mnb^+ 350x500 = 257,51 kNm

ΣMn kolom = 1059,21 kNm

1,2 ΣMn balok = 1,2 (469,32+ 257,51) = 872,19 kNm

ΣMn kolom > 1,2 ΣMn balok (OK)

3. Perhitungan Tulangan Transversal

a. Tulangan di Daerah Sendi Plastis (lo)

bc = bw - (2 x selimut beton)

= 550 - (2 x 40)

= 470 mm

Ag = 550 x 550 = 302500 mm^2

Ach = 470 x 470 = 220900 mm^2

0,3 f'c Ag = 0,3 x 30 x 302500 = 2722500 N = 2722,5 kN

Pu = 1645 kN

Pu < 0,3f'cAg

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4 karena Pu < 0,3f'cAg maka:

$$\frac{A_{sh}}{s\ bc}(1) = 0{,}3\left(\frac{Ag}{Ach} - 1\right)\left(\frac{f'c}{fyt}\right) = 0{,}3\left(\frac{302500}{220900} - 1\right)\left(\frac{30}{420}\right)$$

$$= 0{,}0079\ mm^2/mm$$

$$\frac{A_{sh}}{s\ bc}(2) = 0{,}09\left(\frac{f'c}{fyt}\right) = 0{,}09\left(\frac{30}{420}\right) = 0{,}0064\ mm^2/mm$$

Diambil nilai terbesar Ash/s.bc = 0,0079 mm^2/mm

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0{,}0079\ x\ 420 = 3{,}713\ \text{mm2/mm}$$

Digunakan jumlah kaki pada tulangan transversal = 3 kaki

D sengkang = 13 mm

Ash = 3 x 0,25π x 13^2 = 398,197 mm^2

$$s = \frac{Ash}{Ash/s} = \frac{398{,}197}{3{,}713} = 107{,}244\ mm$$

Jarak spasi maksimum menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, adalah nilai terkecil dari:

s1 = 1/4 x 550 = 137,5 mm

s2 = 6 x 22 = 132 mm

$$s = \frac{550 - 2x40 - 2x13 - 22}{16/4} = 105{,}5\ mm$$

$$s3 = 100 + \frac{350 - 2x105{,}5}{3} = 146{,}33\ mm$$

s terpakai = 100 mm

Maka digunakan tulangan transversal 3D13 - 100 didaerah sendi plastis (lo).

Panjang Sendi Plastis

Berdasrkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1, nilai lo dipilih terbesar antara:

lo_1 = sisi terlebar kolom = 550 mm

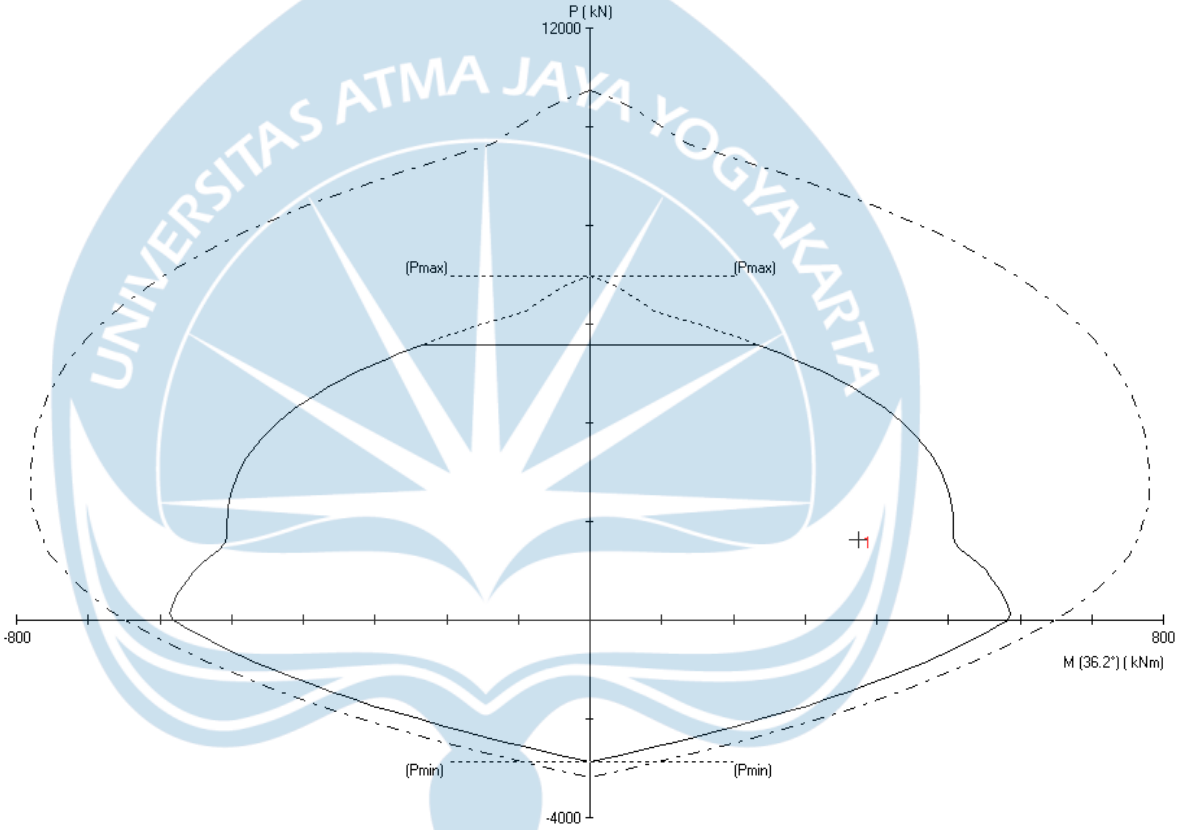
lo_2 = 1/6 ln = 1/6 x 3500 = 583,33 mm

lo_3 = 450 mm

lo pakai = 600 mm

b. Kuat Geser Kolom

Nilai Mpr kolom diambil dari nilai momen nominal kemungkinan terbesar dengan fy diperbesar 1,25fy. Nilai Mpr kolom yang didapatkan dari program SPcolumn sebagai berikut:



Gambar 2. 19 Hasil Desain SP column

Mpr kolom = 782 kNm

$Mprb^{-}$ 350x500 = 516,577 kNm

$Mprb^{+}$ 350x500 = 293,989 kNm

ΣMpr balok = 516,577 + 293,989 = 810,566 kNm

Karena penampang dan tinggi kolom desain dan atas sama maka faktor distribusi momen atas:

DF atas = 0,5

Karena penampang kolom desain dan bawah sama tapi tinggi berbeda, maka untuk mencari faktor distribusi momen bawah:

$$DF_{bawah} = \frac{1/4}{1/4 + 1/3{,}5} = 0{,}47$$

Ve berdasarkan Mpr kolom:

$$Ve(1) = \frac{Mprk\ bawah\ + Mprk\ atas}{ln} = \frac{378{,}29 + 405{,}28}{3{,}5} = 223{,}88\ kN$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.2.1, Vc dianggap 0 apabila:

- Ve > 1/2 Vu as

  Ve = 223,88 kN > 1/2 x 147,6

  Ve = 223,88 kN > 1/2 Vu as = 73,8 kN (OK)
- Pu < Ag f'c /20

  Ag f'c /20 = 302500 x 30 / 20 = 453750 N = 453,75 kN

  Pu = 1645 kN > 453,75 kN (No)

Maka Vc dihitung.

Nu = 606,2 kN

$$Vc = 0{,}17\left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right)\lambda\sqrt{f'c}\ bw\ d$$

$$= 0{,}17\left(1 + \frac{606{,}2}{14\ x\ 302500}\right)1\sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5$$

= 294761,88 N

= 294,7619 kN

ΦVc = 0,75 x 294,7619 = 221,071 kN

Vu = Ve = 223,88 kN

Karena Vu > ΦVc, maka Vs dihitung *(SNI 2847:2019 22.5.10.1)*

$$Vs = \frac{Vu}{\Phi} - Vc = \frac{223{,}88}{0{,}75} - 294{,}7619 = 3{,}7425\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{\text{fyt d}} = \frac{3{,}7425\ x\ 1000}{420\ x\ 503{,}5} = 0{,}0177\ mm^2/mm$$

$0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d = 0{,}33\ x\ \sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5$ = 500537,6 N = 500,54 kN

Vs = 3,7425 kN < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika Vs < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$, maka spasi maksimal:

s max = d/2 = 500,54/2 = 251,75 mm

s pakai = 100 mm < 251,75 mm (OK)

Av = 0,0177 x 100 = 1,77 mm^2

0,5 ΦVc = 110,54 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika Vu = 223,88 kN > 0,5 ΦVc, maka Av min dihitung dari yang terbesar dari:

$$Av\ min1 = 0{,}062\sqrt{f'c}\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}062\sqrt{30}\frac{550\ x\ 100}{420} = 44{,}47mm$$

$$Av\ min2 = 0{,}35\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}35\frac{550\ x\ 100}{420} = 45{,}83\ mm$$

Av min = 45,83 mm

Luas tulangan transversal yang dipakai:

Av req = 45,83 mm

Av pakai = 3 x 0,25π x 13^2 = 398,1969 mm^2 > Av req (OK)

Maka tulangan transversal di daerah sendi plastis tetap menggunakan 3 kaki D13-100 mm.

c. Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis (luar lo)

Nu = 606,2 kN

$$Vc = 0{,}17 \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \lambda \sqrt{f'c}\, bw\, d$$

$$= 0{,}17 \left(1 + \frac{606{,}2}{14\ x\ 302500}\right) 1\ \sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5$$

= 294761,88 N

= 294,76 kN

Vu = Ve = 223,88 kN

ΦVc = 0,75 x 294,76 = 221,07 kN

Vu = 223,88 kN > ΦVc , maka Av dihitung *(SNI 2847:2019 22.5.10.1)*

$$Vs = \frac{Vu}{\Phi} - Vc = \frac{223{,}88}{0{,}75} - 294{,}76 = 3{,}74\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{\text{fyt d}} = \frac{3{,}74\ x\ 1000}{420\ x\ 503{,}5} = 0{,}0177\ mm^2/mm$$

Av pakai = 2 x 0,25π x 13^2 = 265,46 mm^2

s = 265,46 / 0,32 = 14997,9988 mm

$0{,}33\sqrt{f'c}\, bw\, d = 0{,}33\ x\ \sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5$ = 500538 N = 500,54 kN

Vs = 3,74 < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika Vs < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$, maka:

s max = d/2 = 503,5/2 = 251,75mm

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.5 jarak tulangan tidak perlu melebihi nilai terkecil dari:

s1 = 6 D.longitudinal

= 6 x 22 = 132 mm

s2 = 150 mm

Maka digunakan jarak tulangan transversal yang digunakan s = 125 mm

0,5ΦVc = 110,54 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika Vu = 223,88 kN > 0,5 ΦVc, maka Av min dihitung dari yang terbesar dari:

$$Av\ min1 = 0{,}062\sqrt{f'c}\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}062\sqrt{30}\frac{550\ x\ 14990}{420} = 6666{,}03\ mm^2$$

$$Av\ min2 = 0{,}35\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}35\frac{550\ x\ 14990}{420} = 6870{,}42\ mm^2$$

Av min = 6666,03 mm

Av pakai = 2 x 0,25π x 13^2 = 265,46 mm^2 < Av min (Not OK)

Maka tulangan transversal di luar daerah sendi plastis (luar lo) digunakan 2 kaki D13-125 mm.

4. Hubungan Balok Kolom

Data perencanaan:

Tinggi balok (h) = 500 mm

Lebar balok (b) = 350 mm

Ash/s = 3,713 mm^2 /mm

Jumlah Tump – = 8 kaki

As Tump – = 3041,0617 mm^2

Jumlah Tump + = 4 kaki

As Tump + = 1520,5308 mm^2

Mpr – = 516,577 kNm

Mpr + = 293,989 kNm

a. Penentuan Dimensi Joint (Aj)

lebar balok (b) = 350 mm

Tinggi joint (h) = h kolom = 550 mm

x = (h - b)/2 = (550 - 350)/2 = 100 mm

b+h = 350 + 550 = 900 mm

b+2x = 350 + 2(100) = 550 mm

b+h > b+2x

Lebar efektif = b+2x = 550 mm

Luas joint efektif (Aj) = lebar efektif x tinggi joint = 550 x 550 = 302500 mm^2

b. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.3.2, kebutuhan tulangan dapat dikurangi setengah dan spasi bisa ditingkatkan hingga 150 mm jika:

- Terdapat balok yang merangka pada keempat sisi HBK (OK)
- Lebar balok setidaknya 3/4 lebar kolom

  Lebar balok = 350 mm

  3/4 b kolom = 3/4 x 550 = 412,5 mm

Lebar balok < 3/4 lebar kolom (No)

Maka kebutuhan tulangan transversal di HBK tetap sama seperti yang digunakan di daerah sendi plastis kolom.

$$\frac{A_{sh}}{s} = 3{,}713\ mm^2/\text{mm}$$

s pakai = 100 mm

jumlah kaki = 3 kaki

D transversal = 13 mm

Ash req = 3,713 x 100 = 371,3 mm^2

Ash pakai = 3 x 0,25π x 13^2 = 398.197 mm^2

Ash pakai > Ash req (OK)

Maka digunakan 3 kaki tulangan D13-100 mm di HBK

c. Gaya Geser Pada Joint

$Mprb^-$ ki = 516,577 kNm

$Mprb^+$ ka = 293,989 kNm

ΣMpr balok = 516,577 + 293,989 = 810,566 kNm

Karena penampang sama tapi tinggi berbeda, maka faktor distribusi di kolom atas dan kolom bawah hbk menjadi:

$$DF\ atas = \frac{1/4}{1/4 + 1/4} = 0{,}5$$

$$DF\ bawah = \frac{1/4}{1/4 + 1/3} = 0{,}47$$

Me1 = ΣMpr balok x DF atas

= 810,566 x 0,5

= 405,283 kNm

Me2 = ΣMpr balok x DF bawah

= 810,566 x 0,47

= 378.291 kNm

$$Ve = \frac{DF\ atas\ x\ \Sigma\text{Mprb} + DF\ bawah\ x\ \Sigma\text{Mprb}}{ln\ kolom\ atas}$$

$$= \frac{0{,}5\ x\ 810{,}566 + 0{,}47\ x\ 810{,}566}{3}$$

= 223,878 kNm

Gaya tarik tulangan atas kiri HBK:

As^- ki = 3041,0617 mm^2

T1 = 1,25 As fy = 1,25 x 3041,0617 x 420 = 1596557,4 N = 1596.56 kN

Gaya tekan di sisi kiri HBK:

C1 = T1 = 1596,56 kN

Gaya tarik tulangan bawah di sisi kanan HBK:

As^+ ka = 1520,5308 mm^2

T2 = 1,25 As fy = 1,25 x 1520,5308 x 420 = 798278,67 N = 798,28 kN

Gaya tekan di sisi kanan HBK:

C2 = T2 = 798,28 kN

Vj = T1 + C2 - Ve

= 1596,56 + 798,28 - 223,878

= 2170,96 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.1, kuat geser HBK yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya:

Vn = $1{,}7\lambda\sqrt{f'c}$ Aj

= 1,7 x 1 x $\sqrt{30}$ x 302500

= 2816663,3 N

ΦVn = 0,85 x 2816663,3= 2394163,764 N = 2394,16 kN

ΦVn = 2394,16 kN > Vj = 2170,96 kN (OK)

Maka dimensi pada HBK mencukupi dan dipasang tulangan transversal 3 kaki D13 jarak 100 mm.

2.10.3 Perencanaan Kolom K1 Lantai 2

Data perencanaan kolom K1 lantai 2 dengan ukuran 550 mm x 550 mm dengan tinggi 4 m sebagai berikut:

- Mutu beton (f'c) = 30 Mpa
- Dimensi kolom = 550 mm x 500 mm
- Selimut kolom = 40 mm
- Tinggi kolom (l) = 4000 mm
- Tinggi bersih kolom (ln) = 3500 mm
- D. tulangan longtudinal = 22 mm
- fy = 420 Mpa
- D. tulangan transversal = 13 mm
- fyt = 420 Mpa
- d = 550 - 40 - 13/2 = 503,5 mm

Berikut adalah hasil analisis struktur kolom:

Pu kolom desain = 1094,4 kN
Mx desain = 251,1 kNm
My desain = 151,3 kNm
Vu = 92,3 kN
Nu (komb. aksial kecil) = 432,2 kN

Batasan Dimensi

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 2847:2019 18.7.2.1a)

  Sisi terpendek = b = 550 mm > 300 mm (OK)

- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI 2847:2019 18.7.2.1b)

  $\frac{b}{h} = \frac{550}{550} = 1 > 0{,}4\ (OK)$

1. Estimasi Tulangan Longitudinal

Rasio tulangan longitudinal ρ dibatasi tidak boleh kurang dari 0.01 dan tidak boleh lebih dari 0.06 (SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1). Untuk estimasi awal digunakan tulangan 16D22.

Data tulangan kolom longitudinal:

Diameter = 22 mm

Jumlah = 16 buah

As = 16 x 0,25π x 22^2 = 6082,12 mm^2

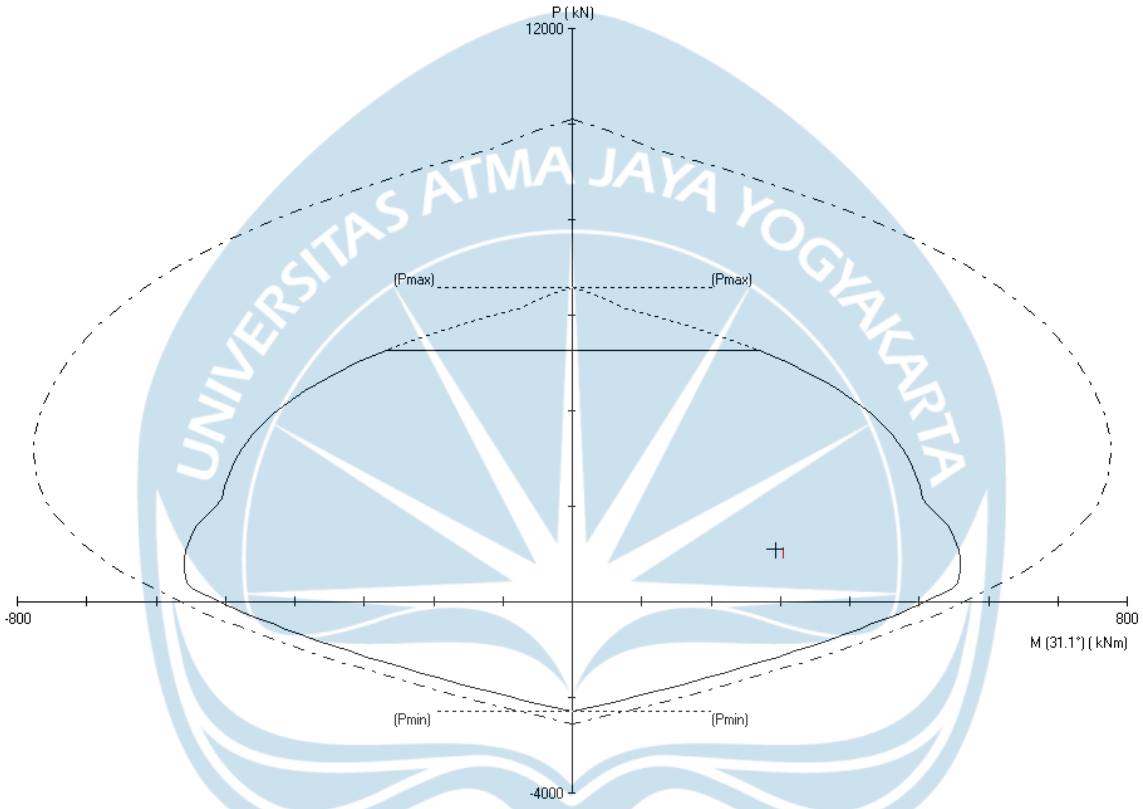
Ag = 550 x 550 = 302500 mm^2

$\rho = \frac{As}{Ag} = \frac{6082{,}12}{302500} = 0{,}0201$

0.01 < ρ < 0.06 (OK)

Kuat Kolom Rencana

Dilakukan perhitungan kuat kolom rencana dengan bantuan program spcolumn dan didapatkan hasil seperti berikut:



Gambar 2. 20 Hasil Desain SP column

Kolom sudah kuat menahan interaksi gaya axial ultimate Pu dan momen ultimate arah X dan Y.

2. Cek Syarat *Strong Column Weak Beam*

Kuat lentur kolom harus memenuhi ΣMnk ≥ 1.2 ΣMnb (SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2). Karena kolom berbentuk persegi, momen nominal kolom arah X dan arah Y sama.

Hasil perhitungan momen nominal kolom:

No	Pu	Mux	Muy	ϕMnx	ϕMny	ϕMn/Mu	NA Depth	dt Depth	εt	ϕ
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
1	1094.40	251.10	151.30	477.29	287.59	1.901	315	685	0.00354	0.774

Gambar 2. 21 Hasil Desain SP column

ΦMn kolom x = 477,29 kNm

Φ kolom x = 0,77

ΦMn kolom y = 287,59 kNm

Φ kolom y = 0,77

Mn kolom x = 477,29/0,77 = 616,65 kNm

Mn kolom y = 287,59/0,77 = 371,56 kNm

ΣMn kolom = 616,65 + 371,56 = 988,21 kNm

Tinjaun Arah X dan Y

Balok dengan dimensi 350x500 dan 350x500 menumpu pada arah X kolom.

Mnb^{-} 350x500 = 469,32 kNm

Mnb^{+} 350x500 = 257,51 kNm

ΣMn kolom = 988,21 kNm

1,2 ΣMn balok = 1,2 (469,32 + 257,51) = 872,19 kNm

ΣMn kolom > 1,2 ΣMn balok (OK)

3. Perhitungan Tulangan Transversal

a. Tulangan di Daerah Sendi Plastis (lo)

bc = bw - (2 x selimut beton)

= 550 - (2 x 40)

= 470 mm

Ag = 550 x 550 = 302500 mm^2

Ach = 470 x 470 = 220900 mm^2

0,3 f'c Ag = 0,3 x 30 x 302500 = 2722500 N = 2722,5 kN

Pu = 1094,4 kN

Pu < 0,3f'cAg

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4 karena Pu < 0,3f'cAg maka:

$$\frac{A_{sh}}{s\ bc}(1) = 0{,}3\left(\frac{Ag}{Ach} - 1\right)\left(\frac{f'c}{fyt}\right) = 0{,}3\left(\frac{302500}{220900} - 1\right)\left(\frac{30}{420}\right)$$

$$= 0{,}0079\ mm^2/mm$$

$$\frac{A_{sh}}{s\ bc}(2) = 0{,}09\left(\frac{f'c}{fyt}\right) = 0{,}09\left(\frac{30}{420}\right) = 0{,}0064\ mm^2/mm$$

Diambil nilai terbesar Ash/s.bc = 0,0079 mm^2/mm

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0{,}0079\ x\ 470 = 3{,}713\ \text{mm2/mm}$$

Digunakan jumlah kaki pada tulangan transversal = 3 kaki

D sengkang = 13 mm

Ash = 3 x 0,25π x 13^2 = 398,197 mm^2

$$s = \frac{Ash}{Ash/s} = \frac{398{,}197}{3{,}713} = 107{,}244\ mm$$

Jarak spasi maksimum menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, adalah nilai terkecil dari:

s1 = 1/4 x 550 = 137,5 mm

s2 = 6 x 22 = 132 mm

$$s = \frac{550 - 2x40 - 2x13 - 22}{16/4} = 105{,}5\ mm$$

$$s3 = 100 + \frac{350 - 2x105,5}{3} = 146,33\ mm$$

s pakai = 100 mm

Maka digunakan tulangan transversal 3D13 - 100 didaerah sendi plastis (lo).

Panjang Sendi Plastis

Berdasrkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1, nilai lo dipilih terbesar antara:

lo_1 = sisi terlebar kolom = 550 mm

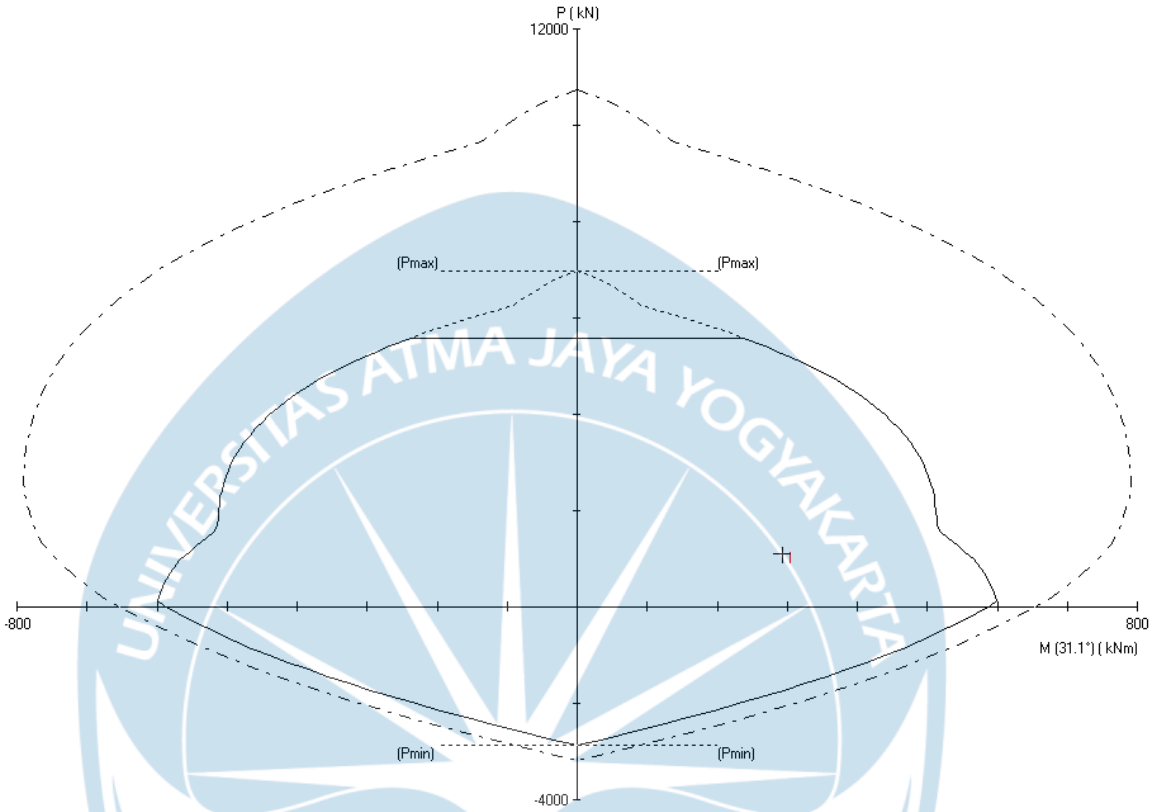
lo_2 = 1/6 ln = 1/6 x 3500 = 583,33 mm

lo_3 = 450 mm

lo pakai = 600 mm

b. Kuat Geser Kolom

Nilai Mpr kolom diambil dari nilai momen nominal kemungkinan terbesar dengan fy diperbesar 1,25fy. Nilai Mpr kolom yang didapatkan dari program SPcolumn sebagai berikut:



Gambar 2. 22 Hasil Desain SP column

Mpr kolom = 793 kNm

Diambil nilai Mpr balok dari arah dengan Mpr terbesar yaitu arah Y.

$Mprb^{-}$ 350x500 = 516,577 kNm

$Mprb^{+}$ 350x500 = 293,989 kNm

ΣMpr balok = 516,577 + 293,989 = 810,566 kNm

Karena penampang dan tinggi kolom desain, kolom bawah dan atas sama maka faktor distribusi momen atas dan bawah sama:

DF = 0,5

Ve berdasarkan Mpr kolom:

$$Ve(1) = \frac{Mprk\ bawah\ + Mprk\ atas}{ln} = \frac{405{,}3 + 405{,}3}{3{,}5} = 231{,}59\ kN$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.2.1, Vc dianggap 0 apabila:

- Ve > 1/2 Vu as

  Ve = 231,59 kN > 1/2x92,3

  Ve = 231,59 kN > 1/2 Vu as = 46,15 kN (OK)

- Pu < Ag f'c /20

  Ag f'c /20 = 302500 x 30 / 20 = 453750 N = 453,75 kN

  Pu = 1094,4 kN > 453,75 kN (Not OK)

Maka Vc dihitung.

Nu = 432,2 kN

$$Vc = 0{,}17\left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right)\lambda\sqrt{f'c}\ bw\ d$$

$$= 0{,}17\left(1 + \frac{432{,}2}{14\ x\ 302500}\right)1\sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5$$

= 284167,699 N

= 284,17 kN

ΦVc = 0,75 x 284,17 = 213,16 kN

Vu = Ve = 231,59 kN

Karena Vu > ΦVc, maka Vs dihitung *(SNI 2847:2019 22.5.10.1)*

$$Vs = \frac{Vu}{\Phi} - Vc = \frac{231{,}59}{0{,}75} - 284{,}17\ = 24{,}62\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{\text{fyt d}} = \frac{24{,}62\ x\ 1000}{420\ x\ 503{,}5} = 0{,}1164\ mm^2/mm$$

$0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d\ =\ 0{,}33\ x\ \sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5 =$ 500537,63 N = 500,54 kN

Vs = 24,62 kN < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika Vs < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$, maka spasi maksimal:

s max = d/2 = 503,5/2 = 251,75 mm

s pakai = 100 mm < 251,75 mm (OK)

Av = 0,1164 x 100 = 11,64 mm^2

0,5 ϕVc = 106,56 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika Vu = 231,59 kN > 0,5 ϕVc, maka Av min dihitung dari yang terbesar dari:

$$Av\ min1 = 0{,}062\sqrt{f'c}\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}062\sqrt{30}\frac{550\ x\ 100}{420} = 44{,}47\ mm$$

$$Av\ min2 = 0{,}35\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}35\frac{550\ x\ 100}{420} = 45{,}83\ mm$$

Av min = 45,83 mm

Luas tulangan transversal yang dipakai:

Av req = 45,83 mm

Av pakai = 3 x 0,25π x 13^2 = 398,1969 mm^2 > Av req (OK)

Maka tulangan transversal di daerah sendi plastis tetap menggunakan 3 kaki D13-100 mm.

c. Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis (luar lo)

Nu = 432,2 kN

$$Vc = 0{,}17\left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right)\lambda\sqrt{f'c}\ bw\ d$$

$$= 0{,}17\left(1 + \frac{432{,}2}{14\ x\ 302500}\right)1\sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5$$

= 284167,699 N

= 284,1677 kN

Vu = Ve = 231,59 kN

ϕVc = 0,75 x 284,1677 = 213,13 kN

Vu = 231,59 kN > ϕVc, maka Av dihitung *(SNI 2847:2019 22.5.10.1)*

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} - Vc = \frac{231{,}59}{0{,}75} - 284{,}1677 = 24{,}62\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{\text{fyt d}} = \frac{24{,}62\ x\ 1000}{420\ x\ 503{,}5} = 0{,}1164\ mm^2/mm$$

Av pakai = 2 x 0,25π x 13^2 = 265,46 mm^2 /mm

s = 265,46 / 0,1164 = 2280,62 mm

$0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$ = 0,33 x $\sqrt{30}$ x 550 x 503,5 = 500537,63 N = 500,54 kN

Vs = 24,62 < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika Vs < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$, maka:

s max = d/2 = 503,5/2 = 251,75 mm

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.5 jarak tulangan tidak perlu melebihi nilaiterkecil dari:

s1 = 6 D.longitudinal = 6 x 22 = 132 mm

s2 = 150 mm

Maka digunakan jarak tulangan transversal yang digunakan s = 125 mm

0,5ΦVc = 106,56 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika Vu = 231,59 kN > 0,5 ΦVc, maka Av min dihitung dari yang terbesar dari:

$$Av\ min1 = 0{,}062\sqrt{f'c}\,\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}062\sqrt{30}\,\frac{550\ x\ 100}{420} = 1013{,}91\ mm^2$$

$$Av\ min2 = 0{,}35\,\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}35\,\frac{550\ x\ 2280}{420} = 1045\ mm^2$$

Av min = 1045 mm

Av pakai = 2 x 0,25π x 13^2 = 265,46 mm^2 > Av min (Not OK)

Maka tulangan transversal di luar daerah sendi plastis (luar lo) digunakan 2 kaki D13-125 mm.

4. Hubungan Balok Kolom

Data perencanaan:

Tinggi balok (h) = 500 mm

Lebar balok (b) = 350 mm

Ash/s = 3,713 mm^2 /mm

Jumlah Tump – = 8 kaki

As Tump – = 3041,0617 mm^2

Jumlah Tump + = 4 kaki

As Tump + = 1520,5308 mm^2

Mpr – = 516,577 kNm

Mpr + = 293,989 kNm

a. Penentuan Dimensi Joint (Aj)

lebar balok (b) = 350 mm

Tinggi joint (h) = h kolom = 550 mm

x = (h - b)/2 = (550 - 350)/2 = 100 mm

b+h = 350 + 550 = 900 mm

b+2x = 350 + 2(100) = 550 mm

b+h > b+2x

Lebar efektif = b+2x = 550 mm

Luas joint efektif (Aj) = lebar efektif x tinggi joint = 550 x 550 = 302500 mm^2

b. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.3.2, kebutuhan tulangan dapat dikurangi setengah dan spasi bisa ditingkatkan hingga 150 mm jika:

- Terdapat balok yang merangka pada keempat sisi HBK (OK)
- Lebar balok setidaknya 3/4 lebar kolom

  Lebar balok = 350 mm

  3/4 b kolom = 3/4 x 550 = 412,5 mm

  Lebar balok < 3/4 lebar kolom (Not OK)

Maka kebutuhan tulangan transversal di HBK tetap sama seperti yang digunakan di daerah sendi plastis kolom.

$$\frac{A_{sh}}{s} = 3{,}713\ mm^2/\text{mm}$$

s pakai = 100 mm

jumlah kaki = 3 kaki

D transversal = 13 mm

Ash req = 3,713 x 100 = 371,3 mm^2

Ash pakai = 3 x 0,25π x 13^2 = 398.197 mm^2

Ash pakai > Ash req (OK)

Maka digunakan 3 kaki tulangan D13-100 mm di HBK

c. Gaya Geser Pada Joint

$Mprb^-$ ki = 516,58 kNm

$Mprb^+$ ka = 293,99 kNm

ΣMpr balok = 516,58 + 293,99 = 810,566 kNm

Karena penampang dan tinggi kolom desain dan atas sama, maka faktor distribusi momen atas bawah sama:

$$DF = \frac{1/4}{1/4 + 1/4} = 0{,}5$$

Me1 = ΣMpr balok x DF atas

= 810,566 x 0,5

= 405,283 kNm

Me2 = ΣMpr balok x DF bawah

= 810,566 x 0,5

= 405,283 kNm

$$Ve = \frac{DF\ atas\ x\ \Sigma\text{Mprb} + DF\ bawah\ x\ \Sigma\text{Mprb}}{ln}$$

$$= \frac{0{,}5\ x\ 810{,}566 + 0{,}5\ x\ 810{,}566}{3{,}5}$$

= 231,59 kNm

Gaya tarik tulangan atas kiri HBK:

As^- ki = 3041,06 mm^2

T1 = 1,25 As fy = 1,25 x 3041,06 x 420 = 1596557,39 N = 1596,557 kN

Gaya tekan di sisi kiri HBK:

C1 = T1 = 1596,557 kN

Gaya tarik tulangan bawah di sisi kanan HBK:

As^+ ka = 1520,53 mm^2

T2 = 1,25 As fy = 1,25 x 1520,53 x 420 = 798278,67 N = 798,279 kN

Gaya tekan di sisi kanan HBK:

C2 = T2 = 798,279 kN

Vj = T1 + C2 - Vsway

= 1596,557 + 798,279 - 231,59

= 2163,25 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.1, kuat geser HBK yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya:

Vn = $1{,}7\lambda\sqrt{f'c}$ Aj

= 1,7 x 1 x $\sqrt{30}$ x 302500

= 2816663,3 N

ΦVn = 0,85 x 2816663,3 = 2394163,76 N

ΦVn = 2394,16 kN > Vj = 2163,25 kN (OK)

Maka dimensi pada HBK mencukupi dan dipasang tulangan transversal 3 kaki D13 jarak 100 mm.

2.10.4 Perencanaan Kolom K1 Lantai 3

Data perencanaan kolom K1 lantai 3 dengan ukuran 550 mm x 550 mm dengan tinggi 3,5 m sebagai berikut:

- Mutu beton (f'c) = 30 Mpa
- Dimensi kolom = 550 mm x 550 mm
- Selimut kolom = 40 mm
- Tinggi kolom (l) = 3500 mm
- Tinggi bersih kolom (ln) = 4000 mm
- D. tulangan longtudinal = 22 mm
- fy = 420 Mpa
- D. tulangan transversal = 13 mm
- fyt = 420 Mpa
- d = 550 - 40 - 13/2 = 503,5 mm

Berikut adalah hasil analisis struktur kolom:

Pu kolom desain = 550,4 kN

Mx desain = 71,3kNm

My desain = 92,3 kNm

Vu = 115,6 kN

Nu (komb. aksial kecil) = 254,5 kN

Batasan Dimensi

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 2847:2019 18.7.2.1a)

  Sisi terpendek = b = 550 mm > 300 mm (OK)
- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI 2847:2019 18.7.2.1b)

$$\frac{b}{h} = \frac{550}{550} = 1 > 0{,}4\ (OK)$$

1. Estimasi Tulangan Longitudinal

Rasio tulangan longitudinal ρ dibatasi tidak boleh kurang dari 0.01 dan tidak boleh lebih dari 0.06 (SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1). Untuk estimasi awal digunakan tulangan 16D22.

Data tulangan kolom longitudinal:

Diameter = 22 mm

Jumlah = 16 buah

As = 16 x 0,25π x 22^2 = 6082,12 mm^2

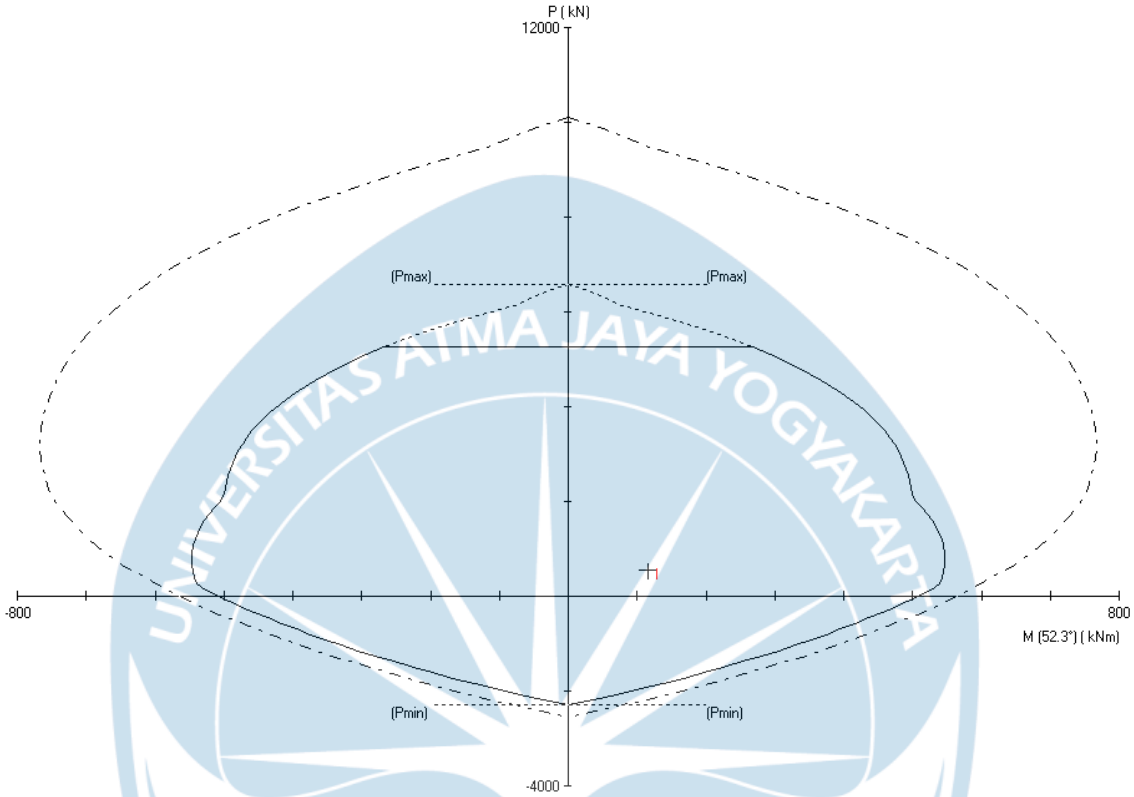
Ag = 550 x 550 = 302500 mm^2

$$\rho = \frac{As}{Ag} = \frac{6082{,}12}{302500} = 0{,}0201$$

0.01 < ρ < 0.06 (OK)

Kuat Kolom Rencana

Dilakukan perhitungan kuat kolom rencana dengan bantuan program spcolumn dan didapatkan hasil seperti berikut:



Gambar 2. 23 Hasil Desain SP column

Kolom sudah kuat menahan interaksi gaya axial ultimate Pu dan momen ultimate arah X dan Y.

2. Cek Syarat *Strong Column Weak Beam*

Kuat lentur kolom harus memenuhi ΣMnk ≥ 1.2 ΣMnb (SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2). Karena kolom berbentuk persegi, momen nominal kolom arah X dan arah Y sama.

Hasil perhitungan momen nominal kolom :

No	Pu	Mux	Muy	ϕMnx	ϕMny	ϕMn/Mu	NA Depth	dt Depth	εt	ϕ
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
1	550.40	71.30	92.30	333.57	431.82	4.678	284	697	0.00437	0.846

Gambar 2. 24 Hasil Desain SP column

ΦMn kolom x = 333,57 kNm

Φ kolom x = 0,846

ΦMn kolom y = 431,82 kNm

Φ kolom y = 0,846

Mn kolom x = 333,57/0,846 = 394,29 kNm

Mn kolom y = 431,82/0,846 = 510,43 kNm

ΣMn kolom = 394,29 + 510,43 = 904,72 kNm

Tinjau Arah X dan Y

Balok dengan dimensi 350x500 dan 350x500 menumpu pada arah X kolom.

Mnb^- 350x500 = 469,32 kNm

Mnb^+ 350x500 = 257,51 kNm

ΣMn kolom = 904,72 kNm

1,2 ΣMn balok = 1,2 (469,32 + 257,51) = 872,19 kNm

ΣMn kolom > 1,2 ΣMn balok (OK)

3. Perhitungan Tulangan Transversal

a. Tulangan di Daerah Sendi Plastis (lo)

bc = bw - (2 x selimut beton)

= 550 - (2 x 40)

= 470 mm

Ag = 550 x 550 = 302500 mm^2

Ach = 470 x 470 = 220900 mm^2

0,3 f'c Ag = 0,3 x 30 x 302500 = 2722500 N = 2722,5 kN

Pu = 550,4 kN

Pu < 0,3f'cAg

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4 karena Pu < 0,3f'cAg maka:

$$\frac{A_{sh}}{s\ bc}(1) = 0{,}3\left(\frac{Ag}{Ach} - 1\right)\left(\frac{f'c}{fyt}\right) = 0{,}3\left(\frac{302500}{220900} - 1\right)\left(\frac{30}{420}\right)$$

$$= 0{,}0079\ mm^2/mm$$

$$\frac{A_{sh}}{s\ bc}(2) = 0{,}09\left(\frac{f'c}{fyt}\right) = 0{,}09\left(\frac{30}{420}\right) = 0{,}0064\ mm^2/mm$$

Diambil nilai terbesar Ash/s.bc = 0,0079 mm^2/mm

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0{,}0079\ x\ 470 = 3{,}713\ \text{mm2/mm}$$

Digunakan jumlah kaki pada tulangan transversal = 3 kaki

D sengkang = 13 mm

Ash = 3 x 0,25π x 13^2 = 398,197 mm^2

$$s = \frac{Ash}{Ash/s} = \frac{398{,}197}{3{,}713} = 107{,}244\ mm$$

Jarak spasi maksimum menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, adalah nilai terkecil dari:

s1 = 1/4 x 550 = 137,5 mm

s2 = 6 x 22 = 132 mm

$$s = \frac{550 - 2x40 - 2x13 - 22}{16/4} = 105{,}5\ mm$$

$$s3 = 100 + \frac{350 - 2x105,5}{3} = 146,33\ mm$$

s pakai = 100 mm

Maka digunakan tulangan transversal 3D13 - 100 didaerah sendi plastis (lo).

Panjang Sendi Plastis

Berdasrkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1, nilai lo dipilih terbesar antara:

lo_1 = sisi terlebar kolom = 550 mm

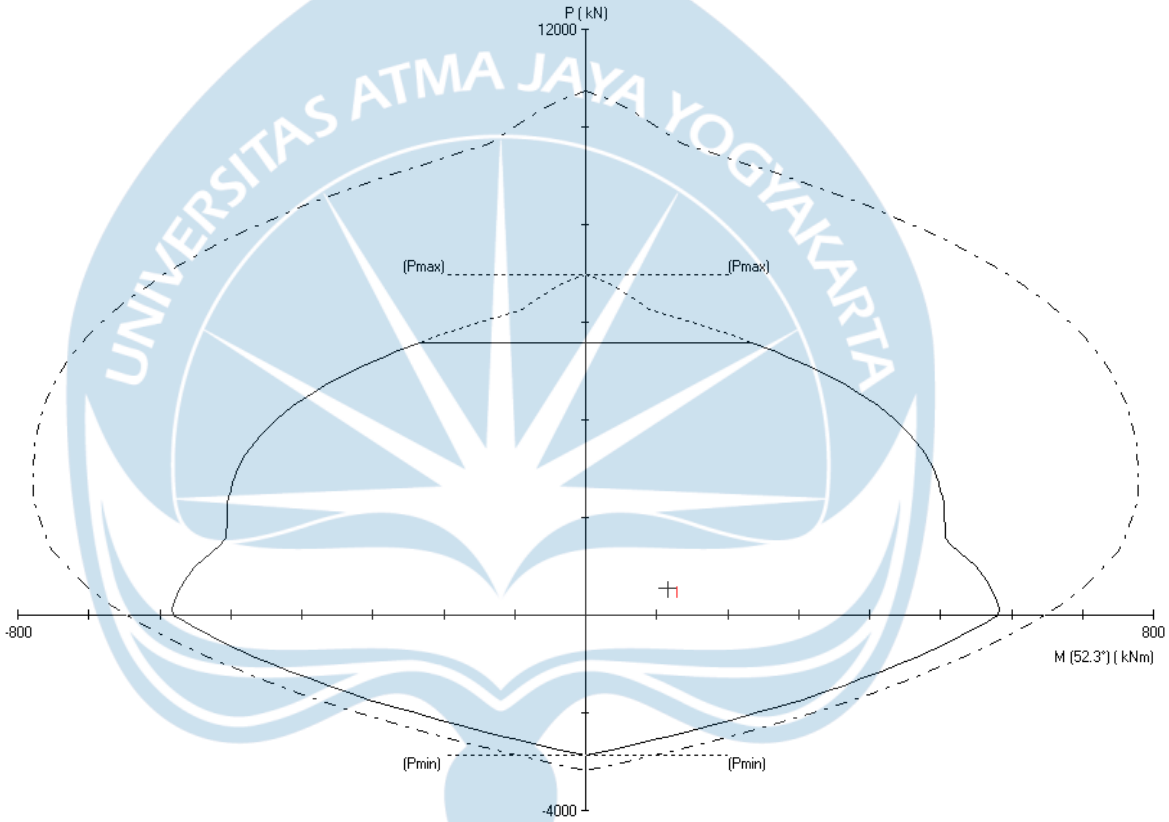
lo_2 = 1/6 ln = 1/6 x 3500 = 583,33 mm

lo_3 = 450 mm

lo pakai = 600 mm

b. Kuat Geser Kolom

Nilai Mpr kolom diambil dari nilai momen nominal kemungkinan terbesar dengan fy diperbesar 1,25fy. Nilai Mpr kolom yang didapatkan dari program SPcolumn sebagai berikut:



Gambar 2. 25 Hasil Desain SP column

Mpr kolom = 780 kNm

Diambil nilai Mpr balok dari arah dengan Mpr terbesar yaitu arah Y.

$Mprb^{-}$ 350x500 = 516,577 kNm

$Mprb^{+}$ 350x500 = 293,989 kNm

ΣMpr balok = 516,577 + 293,989 = 810,566 kNm

Karena penampang dan tinggi kolom desain, kolom bawah dan atas sama maka faktor distribusi momen atas dan bawah sama:

DF = 0,5

Ve berdasarkan Mpr kolom:

$$Ve(1) = \frac{Mprk\ bawah\ + Mprk\ atas}{ln} = \frac{405{,}3 + 780}{3{,}5} = 338{,}65\ kN$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.2.1, Vc dianggap 0 apabila:

- Ve > 1/2 Vu as

  Ve = 338,65 kN > 1/2x115,6

  Ve = 338,65 kN > 1/2 Vu as = 57,8 kN (OK)
- Pu < Ag f'c /20

  Ag f'c /20 = 302500 x 30 / 20 = 453750 N = 453,75 kN

  Pu = 550,4 kN > 453,75 kN (Not OK)

Maka Vc dihitung.

Nu = 254,5 kN

$$Vc = 0{,}17\left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right)\lambda\sqrt{f'c}\ bw\ d$$

$$= 0{,}17\left(1 + \frac{254{,}5}{14\ x\ 302500}\right)1\sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5$$

= 273348,24 N

= 273,35 kN

ΦVc = 0,75 x 273,35 = 205,01 kN

Vu = Ve = 338,65 kN

Karena Vu > ΦVc, maka Vs dihitung *(SNI 2847:2019 22.5.10.1)*

$$Vs = \frac{Vu}{\Phi} - Vc = \frac{338{,}65}{0{,}75} - 273{,}35 = 178{,}188\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{\text{fyt d}} = \frac{178{,}188\ 2\ x\ 1000}{420\ x\ 503{,}5} = 0{,}8426\ mm^2/mm$$

$0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d\ =\ 0{,}33\ x\ \sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5 = 500537{,}63$ N = 500,54 kN

Vs = 178,188 kN < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika Vs < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$, maka spasi maksimal:

s max = d/2 = 503,5/2 = 251,75 mm

s pakai = 100 mm < 251,75 mm (OK)

Av = 0,8426 x 100 = 84,26 mm^2

0,5 ΦVc = 102,506 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika Vu = 338,65 kN > 0,5 ΦVc, maka Av min dihitung dari yang terbesar dari:

$$Av\ min1 = 0{,}062\sqrt{f'c}\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}062\sqrt{30}\frac{550\ x\ 100}{420} = 44{,}47\ mm$$

$$Av\ min2 = 0{,}35\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}35\frac{550\ x\ 100}{420} = 45{,}83\ mm$$

Av min = 45,83 mm

Luas tulangan transversal yang dipakai:

Av req = 45,83 mm

Av pakai = 3 x 0,25π x 13^2 = 398,1969 mm^2 > Av req (OK)

Maka tulangan transversal di daerah sendi plastis tetap menggunakan 3 kaki D13-100 mm.

c. Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis (luar lo)

Nu = 254,5 kN

$$Vc = 0{,}17\left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right)\lambda\sqrt{f'c}\ bw\ d$$

$$= 0{,}17\left(1 + \frac{254{,}5}{14\ x\ 302500}\right)1\sqrt{30}\ x\ 550\ x\ 503{,}5$$

= 273348,24 N

= 273,348 kN

Vu = Ve = 338,65 kN

ΦVc = 0,75 x 273,348 = 205,01 kN

Vu = 338,65 kN > ΦVc, maka Av dihitung *(SNI 2847:2019 22.5.10.1)*

$$Vs = \frac{Vu}{\Phi} - Vc = \frac{338{,}65}{0{,}75} - 273{,}348 = 178{,}19\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{\text{fyt d}} = \frac{178{,}19\ \ x\ 1000}{420\ x\ 503{,}5} = 0{,}8426\ mm^2/mm$$

Av pakai = 2 x 0,25π x 13^2 = 265,46 mm^2 /mm

s = 265,46 / 0,8426 = 315,05 mm

$0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$ = 0,33 $x\ \sqrt{30}\ x$ 550 x 503,5 = 500537,63 N = 500,54 kN

Vs = 178,19 < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika Vs < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$, maka:

s max = d/2 = 503,5/2 = 251,75 mm

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.5 jarak tulangan tidak perlu melebihi nilaiterkecil dari:

s1 = 6 D.longitudinal = 6 x 22 = 132 mm

s2 = 150 mm

Maka digunakan jarak tulangan transversal yang digunakan s = 125 mm

0,5ΦVc = 102,51 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika Vu = 338,65 kN > 0,5 ΦVc, maka Av min dihitung dari yang terbesar dari:

$$Av\ min1 = 0{,}062\sqrt{f'c}\,\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}062\sqrt{30}\,\frac{550\ x\ 310}{420} = 137{,}86\ mm^2$$

$$Av\ min2 = 0{,}35\,\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}35\,\frac{550\ x\ 310}{420} = 142{,}08\ mm^2$$

Av min = 142,08 mm

Av pakai = 2 x 0,25π x 13^2 = 265,46 mm^2 > Av min (OK)

Maka tulangan transversal di luar daerah sendi plastis (luar lo) digunakan 2 kaki D13-125 mm.

4. Hubungan Balok Kolom

Data perencanaan:

Tinggi balok (h) = 500 mm

Lebar balok (b) = 350 mm

Ash/s = 3,713 mm^2 /mm

Jumlah Tump – = 8 kaki

As Tump – = 3041,0617 mm^2

Jumlah Tump + = 4 kaki

As Tump + = 1520,5308 mm^2

Mpr – = 516,577 kNm

Mpr + = 293,989 kNm

a. Penentuan Dimensi Joint (Aj)

lebar balok (b) = 350 mm

Tinggi joint (h) = h kolom = 550 mm

x = (h - b)/2 = (550 - 350)/2 = 100 mm

b+h = 350 + 550 = 900 mm

b+2x = 350 + 2(100) = 550 mm

b+h > b+2x

Lebar efektif = b+2x = 550 mm

Luas joint efektif (Aj) = lebar efektif x tinggi joint = 550 x 550 = 302500 mm^2

b. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.3.2, kebutuhan tulangan dapat dikurangi setengah dan spasi bisa ditingkatkan hingga 150 mm jika:

- Terdapat balok yang merangka pada keempat sisi HBK (OK)
- Lebar balok setidaknya 3/4 lebar kolom

  Lebar balok = 350 mm

  3/4 b kolom = 3/4 x 550 = 412,5 mm

  Lebar balok < 3/4 lebar kolom (Not OK)

Maka kebutuhan tulangan transversal di HBK tetap sama seperti yang digunakan di daerah sendi plastis kolom.

$$\frac{A_{sh}}{s} = 3{,}713\ mm^2/\text{mm}$$

s pakai = 100 mm

jumlah kaki = 3 kaki

D transversal = 13 mm

Ash req = 3,713 x 100 = 371,3 mm^2

Ash pakai = 3 x 0,25π x 13^2 = 398.197 mm^2

Ash pakai > Ash req (OK)

Maka digunakan 3 kaki tulangan D13-100 mm di HBK

c. Gaya Geser Pada Joint

$Mprb^-$ ki = 516,58 kNm

$Mprb^+$ ka = 293,99 kNm

ΣMpr balok = 516,58 + 293,99 = 810,566 kNm

Karena penampang dan tinggi kolom desain dan atas sama, maka faktor distribusi momen atas bawah sama:

DF = 0,5

Me1 = ΣMpr balok x DF atas

= 810,566 x 0,5

= 405,283 kNm

Me2 = ΣMpr balok x DF bawah

= 810,566 x 0,5

= 405,283 kNm

$$Vsway = \frac{DF\ atas\ x\ \Sigma Mprb\ +\ DF\ bawah\ x\ \Sigma Mprb}{ln}$$

$$= \frac{0{,}5\ x\ 810{,}566\ + 0{,}5\ x\ 810{,}566}{3{,}5}$$

= 231,59 kNm

Gaya tarik tulangan atas kiri HBK:

As^- ki = 3041,06 mm^2

T1 = 1,25 As fy = 1,25 x 3041,06 x 420 = 1596557,39 N = 1596,557 kN

Gaya tekan di sisi kiri HBK:

C1 = T1 = 1596,557 kN

Gaya tarik tulangan bawah di sisi kanan HBK:

As^+ ka = 1520,53 mm^2

T2 = 1,25 As fy = 1,25 x 1520,53 x 420 = 798278,67 N = 798,279 kN

Gaya tekan di sisi kanan HBK:

C2 = T2 = 798,279 kN

Vj = T1 + C2 - Vsway

= 1596,557 + 798,279 - 231,59

= 2163,25 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.1, kuat geser HBK yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya:

Vn = $1{,}7\lambda \sqrt{f'c}$ Aj

= 1,7 x 1 x $\sqrt{30}$ x 302500

= 2816663,3 N

ΦVn = 0,85 x 2816663,3 = 2394163,76 N

ΦVn = 2394,16 kN > Vj = 2163,25 kN (OK)

Maka dimensi pada HBK mencukupi dan dipasang tulangan transversal 3 kaki D13 jarak 100 mm.

2.10.5 Perencanaan Kolom Lift Basement – Lift Lantai

Data perencanaan kolom *Lift Basement* dengan ukuran 300 mm x 300 mm dengan tinggi 3,5 m sebagai berikut:

- Mutu beton (f'c) = 30 Mpa
- Dimensi kolom = 300 mm x 300 mm
- Selimut kolom = 40 mm
- Tinggi kolom (l) = 3500 mm
- Tinggi bersih kolom (ln) = 3250 mm
- D. tulangan longtudinal = 19 mm
- fy = 420 Mpa
- D. tulangan transversal = 13 mm
- fyt = 420 Mpa
- d = 300 - 40 - 13/2 = 253,5 mm

Berikut adalah hasil analisis struktur kolom:

Pu kolom atas = 0 kN
Mx atas = 0 kNm
My atas = 0 kNm
Pu kolom desain = 517,7 kN
Mx desain = 57,2 kNm
My desain = 61,6 kNm
Vu = 28,8kN
Nu (komb. aksial kecil) = 165,5 kN

Batasan Dimensi

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 2847:2019 18.7.2.1a)

  Sisi terpendek = b = 300 mm ≥ 300 mm (OK)

- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI 2847:2019 18.7.2.1b)

$$\frac{b}{h} = \frac{300}{300} = 1 > 0{,}4\ (OK)$$

1. Estimasi Tulangan Longitudinal

Rasio tulangan longitudinal ρ dibatasi tidak boleh kurang dari 0.01 dan tidak boleh lebih dari 0.06 (SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1). Untuk estimasi awal digunakan tulangan 12D19.

Data tulangan kolom longitudinal:

Diameter = 19 mm

Jumlah = 12 buah

As = 12 x 0,25π x 19^2 = 3402,3 mm^2

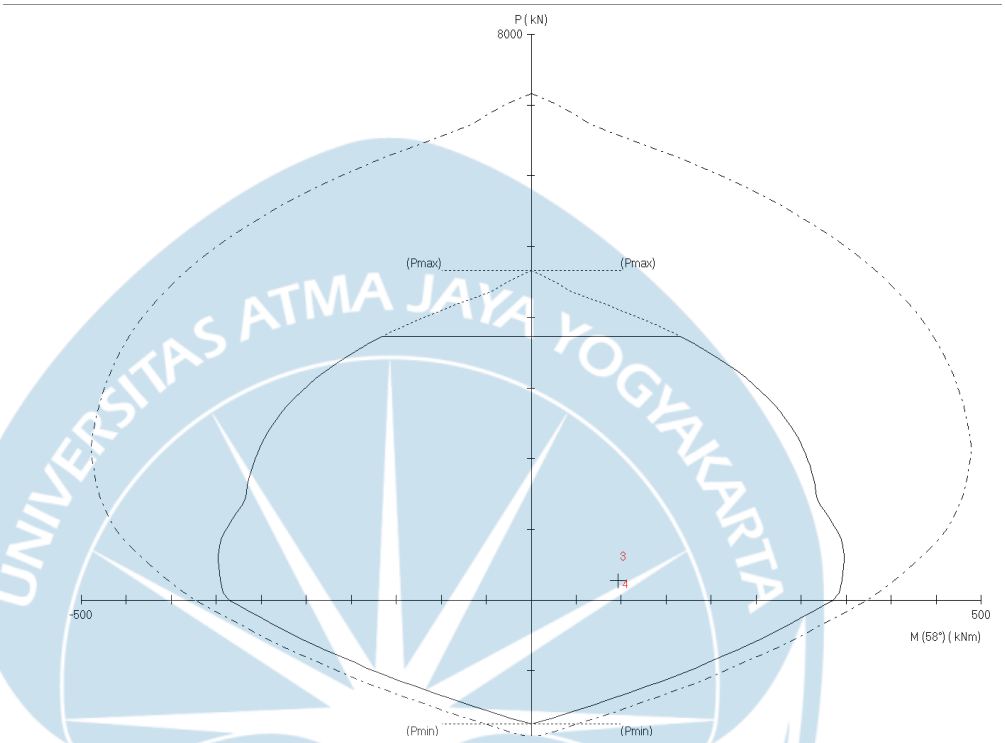
Ag = 300 x 300 = 90000 mm^2

$$\rho = \frac{As}{Ag} = \frac{3402{,}3}{90000} = 0{,}0378$$

0.01 < ρ < 0.06 (OK)

Kuat Kolom Rencana

Dilakukan perhitungan kuat kolom rencana dengan bantuan program spcolumn dan didapatkan hasil seperti berikut:



Gambar 2. 26 Hasil Desain SP column

Kolom sudah kuat menahan interaksi gaya axial ultimate Pu dan momen ultimate arah X dan Y.

2. Cek Syarat *Strong Column Weak Beam*

Kuat lentur kolom harus memenuhi ΣMnk ≥ 1.2 ΣMnb (SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2). Karena kolom berbentuk persegi, momen nominal kolom arah X dan arah Y sama.

Hasil perhitungan momen nominal kolom :

Pu	Mux	ϕMnx	ϕMn/Mu	NA Depth	dt Depth	εt	ϕ
kN	kNm	kNm		mm	mm		
2223.20	292.70	593.50	2.028	290	499	0.00215	0.655
1645.00	0.00	707.28	999.999	207	499	0.00425	0.835

Gambar 2. 27 Hasil Desain SP column

ΦMn kolom atas = 62,01 kNm

Φ kolom atas = 0,65

ΦMn kolom desain = 66,79 kNm

Φ kolom desain = 0,65

Mn kolom x = 62,01/0,65= 95,4 kNm

Mn kolom y = 66,79 /0,65= 102,75 kNm

ΣMn kolom = 95,4 + 102,75 = 198,15 kNm

Tinjau Arah X dan Y

Balok dengan dimensi 350x500 dan 350x500 menumpu pada arah X kolom.

Mnb^- 350x500 = 39,81 kNm

Mnb^+ 350x500 = 39,81 kNm

ΣMn kolom = 198,15 kNm

1,2 ΣMn balok = 1,2 (39,81 + 39,81) = 95,54 kNm

ΣMn kolom > 1,2 ΣMn balok (OK)

3. Perhitungan Tulangan Transversal

a. Tulangan di Daerah Sendi Plastis (lo)

bc = bw - (2 x selimut beton)

= 300 - (2 x 40)

= 220 mm

Ag = 300 x 300 = 90000 mm^2

Ach = 220 x 220 = 48400 mm^2

0,3 f'c Ag = 0,3 x 30 x 90000 = 810000 N = 810 kN

Pu = 517,7 kN

Pu < 0,3f'cAg

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4 karena Pu < 0,3f'cAg maka:

$$\frac{A_{sh}}{s\ bc}(1) = 0{,}3\left(\frac{Ag}{Ach} - 1\right)\left(\frac{f'c}{fyt}\right) = 0{,}3\left(\frac{90000}{48400} - 1\right)\left(\frac{30}{420}\right)$$

$$= 0{,}0184\ mm^2/mm$$

$$\frac{A_{sh}}{s\ bc}(2) = 0{,}09\left(\frac{f'c}{fyt}\right) = 0{,}09\left(\frac{30}{420}\right) = 0{,}0064\ mm^2/mm$$

Diambil nilai terbesar Ash/s.bc = 0,0184 mm^2/mm

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0{,}0184\ x\ 220 = 4{,}048\ \text{mm2/mm}$$

Digunakan jumlah kaki pada tulangan transversal = 3 kaki

D sengkang = 13 mm

Ash = 3 x 0,25π x 13^2 = 398,197 mm^2

$$s = \frac{Ash}{Ash/s} = \frac{398{,}197}{4{,}048} = 98{,}37\ mm$$

Jarak spasi maksimum menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, adalah nilai terkecil dari:

s1 = 1/4 x 300 = 75 mm

s2 = 6 x 19 = 114 mm

$$s = \frac{300 - 2x40 - 2x13 - 19}{16/4} = 58{,}33\ mm$$

$$s3 = 100 + \frac{350 - 2x58{,}33}{3} = 177{,}78\ mm$$

s pakai = 75 mm

Maka digunakan tulangan transversal 3D13 - 75 didaerah sendi plastis (lo).

Panjang Sendi Plastis

Berdasrkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1, nilai lo dipilih terbesar antara:

lo_1 = sisi terlebar kolom = 300 mm

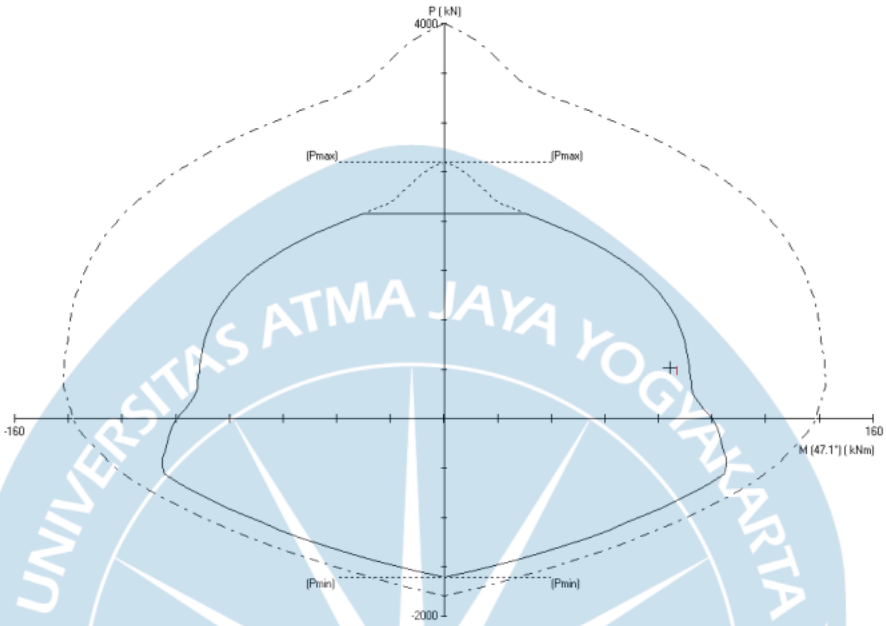
lo_2 = 1/6 ln = 1/6 x 3250 = 541,67 mm

lo_3 = 450 mm

lo pakai = 541,67 mm

b. Kuat Geser Kolom

Nilai Mpr kolom diambil dari nilai momen nominal kemungkinan terbesar dengan fy diperbesar 1,25fy. Nilai Mpr kolom yang didapatkan dari program SPcolumn sebagai berikut:



Gambar 2. 28 Hasil Desain SP Coulomn

Mpr kolom = 143 kNm

Diambil nilai Mpr balok dari arah dengan Mpr terbesar yaitu arah Y.

$Mprb^{-}$ 350x500 = 48,024 kNm

$Mprb^{+}$ 350x500 = 48,024 kNm

ΣMpr balok = 48,024 + 48,024 = 96,048 kNm

Karena penampang kolom atas dan bawah sama tapi tinggi berbeda, maka untuk mencari faktor distribusi momen atas:

$$DF_{atas} = \frac{1/3{,}5}{1/4 + 1/3{,}5} = 0{,}533$$

Ve berdasarkan Mpr kolom:

$$Ve(1) = \frac{Mprk\ bawah\ + Mprk\ atas}{ln} = \frac{143 + 51{,}22}{3{,}25} = 59{,}76\ kN$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.2.1, Vc dianggap 0 apabila:

- Ve > 1/2 Vu as

  Ve = 59,76 kN > 1/2x28,8

  Ve = 59,76 kN > 1/2 Vu as = 14,4 kN (OK)

- Pu < Ag f'c /20

  Ag f'c /20 = 90000 x 30 / 20 = 135000 N = 135 kN

  Pu = 517,7 kN > 135 kN (Not OK)

Maka Vc dihitung.

Nu = 165,5 kN

$$Vc = 0{,}17\left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right)\lambda\sqrt{f'c}\ bw\ d$$

$$= 0{,}17\left(1 + \frac{165{,}5}{14\ x\ 90000}\right)1\sqrt{30}\ x\ 300\ x\ 253{,}5$$

= 80113,4517 N

= 80,113 kN

ΦVc = 0,75 x 80,113 = 60,085 kN

Vu = Ve = 59,76 kN

Karena Vu > ΦVc, maka Vs dihitung *(SNI 2847:2019 22.5.10.1)*

$$Vs = \frac{Vu}{\Phi} - Vc = \frac{59{,}76}{0{,}75} - 80{,}113 = 0\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{\text{fyt d}} = \frac{0}{420\ x\ 253{,}5} = 0\ mm^2/mm$$

$0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d\ =\ 0{,}33\ x\ \sqrt{30}\ x\ 300\ x\ 253{,}5 = 137459{,}2N = 137{,}459$ kN

Vs = 0 kN < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika Vs < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$, maka spasi maksimal:

s max = d/2 = 253,5/2 = 126,75 mm

s pakai = 75 mm < 126,75 mm (OK)

Av = 0 x 75 = 0 mm^2

0,5 ϕVc = 30,04 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika Vu = 59,76 kN > 0,5 ϕVc, maka Av min dihitung dari yang terbesar dari:

$$Av\ min1 = 0{,}062\sqrt{f'c}\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}062\sqrt{30}\frac{300\ x\ 75}{420} = 18{,}19\ mm$$

$$Av\ min2 = 0{,}35\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}35\frac{300\ x\ 75}{420} = 18{,}75\ mm$$

Av min = 18,75 mm

Luas tulangan transversal yang dipakai:

Av req = 18,75 mm

Av pakai = 3 x 0,25π x 13^2 = 398,1969 mm^2 > Av req (OK)

Maka tulangan transversal di daerah sendi plastis tetap menggunakan 3 kaki D13-75 mm.

c. Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis (luar lo)

Nu = 165,5 kN

$$Vc = 0{,}17\left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right)\lambda\sqrt{f'c}\ bw\ d$$

$$= 0{,}17 \left(1 + \frac{165{,}5}{14\ x\ 90000}\right) 1\ \sqrt{30}\ x\ 300\ x\ 253{,}5$$

= 80113,4517 N

= 80,1135 kN

Vu = Ve = 59,76 kN

ΦVc = 0,75 x 80,1135 = 60,085 kN

Vu = 59,76 kN < ΦVc , maka Av tidak dihitung *(SNI 2847:2019 22.5.10.1)*

Av pakai = 2 x 0,25π x 13^2 = 265,46 mm^2 /mm

s asumsi = 100 mm

$0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d = 0{,}33\ x\ \sqrt{30}\ x\ 300\ x\ 253{,}5 = 137459{,}2N = 137{,}459$ kN

Vs = 0 < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika Vs < $0{,}33\sqrt{f'c}\ bw\ d$, maka:

s max = d/2 = 253,5/2 = 126,75 mm

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.5 jarak tulangan tidak perlu melebihi nilai terkecil dari:

s1 = 6 D.longitudinal = 6 x 19 = 114 mm

s2 = 150 mm

Maka digunakan jarak tulangan transversal yang digunakan s = 100 mm

0,5ΦVc = 30,04 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika Vu = 59,76 kN > 0,5 ΦVc, maka Av min dihitung dari yang terbesar dari:

$$Av\ min1 = 0{,}062\sqrt{f'c}\ \frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}062\sqrt{30}\ \frac{300\ x\ 100}{420} = 24{,}26\ mm^2$$

$$Av\ min2 = 0{,}35\frac{bw\ s}{fyt} = 0{,}35\frac{300\ x\ 100}{420} = 25\ mm^2$$

Av min = 25 mm

Av pakai = 2 x 0,25π x 13^2 = 265,46 mm^2 > Av min (OK)

Maka tulangan transversal di luar daerah sendi plastis (luar lo) digunakan 2 kaki D13-100 mm.

4. Hubungan Balok Kolom

Data perencanaan:

Tinggi balok (h) = 250 mm

Lebar balok (b) = 200 mm

Ash/s = 4,048 mm^2 /mm

Jumlah Tump – = 2 kaki

As Tump – = 567,06 mm^2

Jumlah Tump + = 2 kaki

As Tump + = 567,06 mm^2

Mpr – = 48,024 kNm

Mpr + = 48,024 kNm

a. Penentuan Dimensi Joint (Aj)

lebar balok (b) = 200 mm

Tinggi joint (h) = h kolom = 300 mm

x = (h - b)/2 = (300 - 200)/2 = 50 mm

b+h = 200 + 300 = 500 mm

b+2x = 200 + 2(50) = 300 mm

b+h > b+2x

Lebar efektif = b+2x = 300 mm

Luas joint efektif (Aj) = lebar efektif x tinggi joint = 300 x 300 = 90000 mm^2

b. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.3.2, kebutuhan tulangan dapat dikurangi setengah dan spasi bisa ditingkatkan hingga 150 mm jika:

- Terdapat balok yang merangka pada keempat sisi HBK (OK)
- Lebar balok setidaknya 3/4 lebar kolom

  Lebar balok = 200 mm

  3/4 b kolom = 3/4 x 300 = 225 mm

  Lebar balok < 3/4 lebar kolom (Not OK)

Maka kebutuhan tulangan transversal di HBK tetap sama seperti yang digunakan di daerah sendi plastis kolom.

$\frac{A_{sh}}{s} = 4{,}048\ mm^2/\text{mm}$

s pakai = 75 mm

jumlah kaki = 3 kaki

D transversal = 13 mm

Ash req = 4,048 x 75 = 303,6 mm^2

Ash pakai = 3 x 0,25π x 13^2 = 398.197 mm^2

Ash pakai > Ash req (OK)

Maka digunakan 3 kaki tulangan D13-75 mm di HBK

c. Gaya Geser Pada Joint

$Mprb^-$ ki = 48,024 kNm

$Mprb^+$ ka = 48,024 kNm

ΣMpr balok = 48,024 + 48,024 = 96,048 kNm

Karena penampang sama tapi tinggi berbeda, maka faktor distribusi di kolom atas dan kolom bawah hbk menjadi:

$$DF\ atas = \frac{1/3{,}5}{1/4 + 1/3{,}5} = 0{,}53$$

$$DF\ bawah = \frac{1/4}{1/4 + 1/4} = 0{,}5$$

Me1 = ΣMpr balok x DF atas

= 48,024 x 0,53

= 51,22 kNm

Me2 = ΣMpr balok x DF bawah

= 48,024 x 0,5

= 48,02 kNm

$$Vsway = \frac{DF\ atas\ x\ \Sigma\text{Mprb}\ +\ DF\ bawah\ x\ \Sigma\text{Mprb}}{ln\ kolom\ atas}$$

$$= \frac{0{,}53\ x\ 48{,}024\ + 0{,}5\ x\ 48{,}024}{3{,}25}$$

= 30,54 kNm

Gaya tarik tulangan atas kiri HBK:

As^- ki = 567,06 mm^2

T1 = 1,25 As fy = 1,25 x 567,06 x 420 = 297705,19 N = 297,705 kN

Gaya tekan di sisi kiri HBK:

C1 = T1 = 297,705 kN

Gaya tarik tulangan bawah di sisi kanan HBK:

As^+ ka = 567,06 mm^2

T2 = 1,25 As fy = 1,25 x 567,06 x 420 = 297705,19 N = 297,705 kN

Gaya tekan di sisi kanan HBK:

C2 = T2 = 297,705 kN

Vj = T1 + C2 - Vsway

= 297,705 kN + 297,705 kN - 30,54

= 564,873 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.1, kuat geser HBK yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya:

Vn = $1{,}7\lambda\sqrt{f'c}$ Aj

= 1,7 x 1 x $\sqrt{30}$ x 90000

= 838015,5 N

ΦVn = 0,85 x 838015,5 = 712313,2 N = 712,31 kN

ΦVn = 712,31 kN > Vj = 564,873 kN (OK)

Maka dimensi pada HBK mencukupi dan dipasang tulangan transversal 3 kaki D13 jarak 75 mm.