

BAB 2

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Preliminary Design

Gedung *Co-Working Space* ini terletak di Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pembangunan Gedung *Co-Working Space* memiliki 1 buah gedung yang terdiri dari 3 lantai dan 1 *basement* dimana tiap lantai memiliki tinggi yang berbeda-beda. Gedung *Co-Working Space* ini memiliki 2 tipe struktur kolom dengan ukuran *preliminary design* 700x700 mm untuk lantai *basement* dan lantai 1, dan kolom ukuran 600x600 untuk lantai 2 dan lantai 3. Selain itu, bangunan ini memiliki 2 tipe balok induk dengan ukuran *preliminary design* balok ukuran 250x500 mm dan balok ukuran 250x450 mm. Adapun balok anak pada Gedung *Co-Working Space* ini terdiri dari 1 tipe balok anak dengan ukuran *preliminary design* balok anak 250x450 mm. Berikut merupakan perhitungan *preliminary design* balok dan kolom pada perencanaan Pembangunan Gedung *Co-Working Space* di Bantul.

2.1.1 Preliminary Design Balok

A . Balok induk tipe 1

- Tinggi balok = $1/16 \times$ bentang balok
= $1/16 \times 8000$ mm
= 500 mm
- Lebar balok = $1/2 \times$ tinggi balok
= $1/2 \times 500$ mm
= 250 mm

B . Balok induk tipe 1

- Tinggi balok = $1/16 \times$ bentang balok
= $1/16 \times 7000$ mm
= 437,5 mm = 450 mm

- Lebar balok = $\frac{1}{2} \times$ tinggi balok
 = $\frac{1}{2} \times 450 \text{ mm}$
 = $225 \text{ mm} = 250 \text{ mm}$

C. Balok anak

- Tinggi balok = $\frac{1}{17} \times$ bentang balok
 = $\frac{1}{17} \times 7000 \text{ mm}$
 = $411,8 \text{ cm} = 450 \text{ mm}$
- Lebar balok = $\frac{1}{2} \times$ tinggi balok
 = $\frac{1}{2} \times 450 \text{ mm}$
 = $225 \text{ mm} = 250 \text{ mm}$

2.1.2 Preliminary Design Kolom

A. Kolom tipe 1

- Beban LL = $368,64 \text{ kNm}$
- Beban DL = $1275,28 \text{ kNm}$
- P_u = $1,2DL + 1,6LL$
 = $2120,16 \text{ kNm}$
- Luasan Kolom (A) = $3P_u / f'_c$
 = $3 \times 2120,16 \times 1000 / 30$
 = $212016,96 \text{ mm}^2$
- Ukuran Kolom = $\sqrt{212016,96}$
 = $460,453 \text{ mm}$
 = $600 \times 600 \text{ mm}$

B. Kolom tipe 2

- Beban LL = $614,4 \text{ kNm}$
- Beban DL = $1729,49 \text{ kNm}$
- P_U = $1,2DL + 1,6LL$

- = 3058,44 kNm
- Luasan Kolom (A) = $3PU / f'c$
 = $3 \times 3058,44 \times 1000 / 30$
 = 305843,52 mm²
- Ukuran Kolom = $\sqrt{305843,52}$
 = 553,03 mm
 = 700x700 mm

2.2 Interpretasi Data Tanah dan Penentuan Kelas Situs

2.2.1 Interpretasi Data Tanah

Proses interpretasi data tanah dilakukan dengan melakukan penerjemahan pada data tanah yang diberikan, terdapat data pengujian CPT (*cone penetration test*) dan SPT (*standart penetration test*). Dilakukan interpretasi data tanah agar data tanah menjadi lebih sederhana dan lebih mudah dipahami, kemudian setelah melakukan interpretasi data tanah dapat dilanjutkan dengan menentukan kelas situs yang dapat dilihat dari respon spektrum. Hasil pengujian daya dukung tanah dengan cara CPT (*cone penetration test*) dan SPT (*standart penetration test*) dapat dilihat pada Gambar 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, dan 2.6.

REKAP HASIL PENGUJIAN TANAH

Titik	Kedalaman (m)	Kadar Air (%)	Berat Jenis (G)	γ_s (gr/cm ³)	γ_k (gr/cm ³)	Pengujian Geser Langsung	
						c (kg/cm ²)	θ'
BH 1	10	42,82	2,55	1,61	1,13	0,02	12,09
	15	40,46	2,53	1,65	1,17	0,15	11,20

Gambar 2.1 Rekap hasil pengujian tanah.



BOR LOG

DATE STARTED: 28 November 2016
 DATE COMPLETED : 29 November 2016
 DRILLING CONTRACTOR: SOIL MECH. LAB, UAJY
 DRILLING METHOD: ROTARY SPINDLE, SKID MOUNTED TYPE
 LOGGED BY: Mukarob, CS.
 CHECKED BY: SOIL MECH. LAB, UAJY

GROUND ELEVATION : - 1,00 m from road level
 HOLE SIZE : 7.295cm
 GROUND WATER LEVEL : - 9,00 m from ground level
 WEATHER CONDITION : FINE
 ESTIMATED SEASONAL HIGH :-

Depth (m)	Graph Log	Material Description (field observations)	Contact Depth (m)	Sample Number	Blow Counts (N Value)				Water Level Elevation (m)	SPT Value
					N ₁	N ₂	N ₃	N _v		
1										
2					2	3	3	6		
3										
4					2	3	3	6		
5		Lanau sedikit lempung (coklat, merah)	10							
6						2	8	8	16	
7										
8						3	8	8	16	
9								- 9,00		
10				I	3	8	9	17		
11										
12					4	8	9	17		
13										
14					4	7	11	18		
15										
16		Lanau lempung (coklat)	12		4	8	11	19		
17										
18						3	4	6	10	
19										
20				II	3	4	5	9		
21										
22					3	4	5	9		
23										
24					3	4	7	11		
25										
26					3	5	6	11		
27										
28		Lanau lempung (coklat, abu-abu)	13		3	5	7	12		
29						4	6	8	14	
30										
31						4	7	8	15	
32										
33					4	9	9	18		
34										
35										

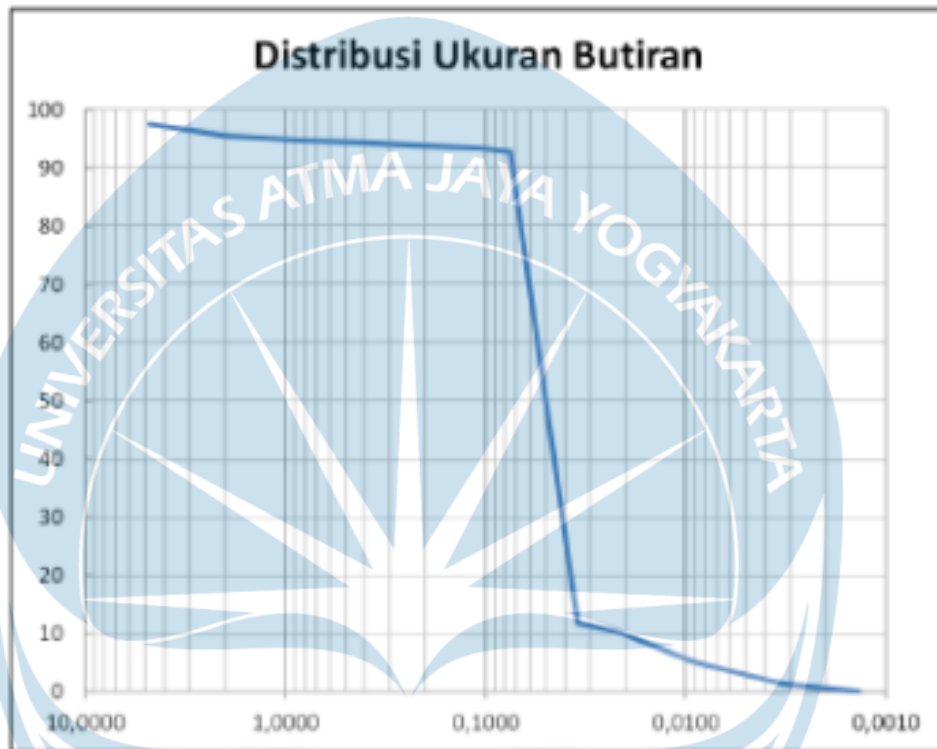
Catatan: Pada pengamatan di lapangan, lanau bisa tampak seperti pasir halus atau pasir sangat halus

Gambar 2.2 Hasil pengujian tanah SPT (*standart penetration test*).

ANALISA BUTIRAN

Tanggal : 05 Desember 2016

Titik : BH 1
Kedalaman: 10



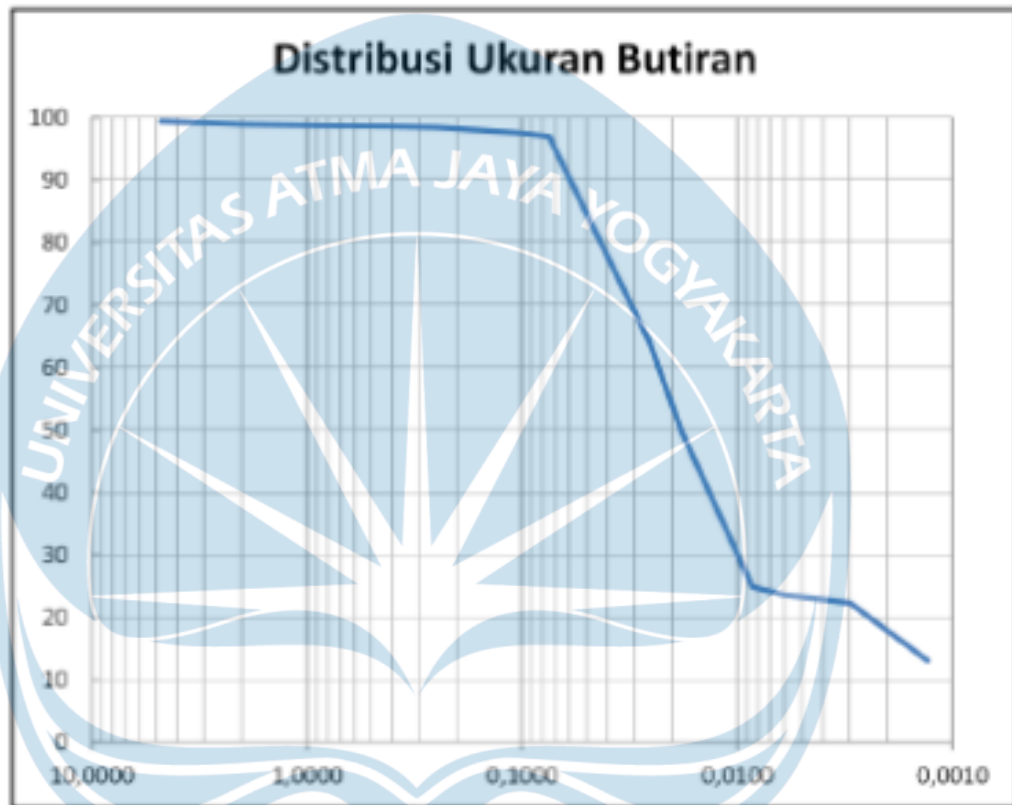
No. Sieve	Ukuran Butiran (mm)	Berat Tertahan	Berat Lolos	Prosen Lolos
4	4,750	2,52	97,48	97,48
10	2,000	1,99	95,49	95,49
20	0,850	0,74	94,75	94,75
40	0,425	0,37	94,38	94,38
60	0,250	0,41	93,97	93,97
140	0,106	0,61	93,36	93,36
200	0,075	0,57	92,79	92,79
Pan		92,79		

Gambar 2.3 Hasil analisa butiran kedalaman 10.

ANALISA BUTIRAN

Tanggal : 05 Desember 2016

Titik : BH 1
Kedalaman: 15



No. Sieve	Ukuran Butiran (mm)	Berat Tertahan	Berat Lolos	Prosen Lolos
4	4,750	0,63	99,37	99,37
10	2,000	0,49	98,88	98,88
20	0,850	0,20	98,68	98,68
40	0,425	0,13	98,55	98,55
60	0,250	0,17	98,38	98,38
140	0,106	0,88	97,50	97,50
200	0,075	0,54	96,96	96,96
Pan		96,96		

Gambar 2.4 Hasil analisa butiran kedalaman 15.



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING - ATMA JAYA YOGYAKARTA UNIVERSITY
 10 TON DUTCH CONE PENETRATION TEST

No. of CPT : SB. 2 Weather : Cerah
 Elevation : -1,00 meter dari muka jalan Surveyor : Lab.Mektan FT.UAJY
 Ground Water Depth : -9.00 meter dari muka tanah

Kedalaman meter	C kg/cm ²	C+F Kg/cm ²	LF Kg/cm ²	TF Kg/cm ²	Jumlah TF Kg/cm ²	Kedalaman meter	C kg/cm ²	C+F Kg/cm ²	LF Kg/cm ²	TF Kg/cm ²	Jumlah TF Kg/cm ²
0,00	0	0	0,00	0	0						
0,20	2	4	0,30	6	6	10,20	1	2	0,15	3	300
0,40	3	5	0,30	6	12	10,40	1	2	0,15	3	303
0,60	5	7	0,30	6	18	10,60	1	2	0,15	3	306
0,80	8	10	0,30	6	24	10,80	1	2	0,15	3	309
1,00	10	13	0,45	9	33	11,00	1	2	0,15	3	312
1,20	8	10	0,30	6	39	11,20	1	2	0,15	3	315
1,40	7	9	0,30	6	45	11,40	1	2	0,15	3	318
1,60	11	14	0,45	9	54	11,60	1	2	0,15	3	321
1,80	16	19	0,45	9	63	11,80	1	2	0,15	3	324
2,00	18	21	0,45	9	72	12,00	1	2	0,15	3	327
2,20	15	18	0,45	9	81	12,20	1	2	0,15	3	330
2,40	20	23	0,45	9	90	12,40	1	2	0,15	3	333
2,60	24	27	0,45	9	99	12,60	1	2	0,15	3	336
2,80	21	24	0,45	9	108	12,80	1	2	0,15	3	339
3,00	13	16	0,45	9	117	13,00	1	2	0,15	3	342
3,20	11	14	0,45	9	126	13,20	1	2	0,15	3	345
3,40	8	10	0,30	6	132	13,40	1	2	0,15	3	348
3,60	10	13	0,45	9	141	13,60	1	2	0,15	3	351
3,80	14	17	0,45	9	150	13,80	1	2	0,15	3	354
4,00	18	21	0,45	9	159	14,00	1	2	0,15	3	357
4,20	24	27	0,45	9	168	14,20	1	2	0,15	3	360
4,40	28	31	0,45	9	177	14,40	1	2	0,15	3	363
4,60	26	29	0,45	9	186	14,60	1	2	0,15	3	366
4,80	24	27	0,45	9	195	14,80	5	7	0,30	6	372
5,00	23	28	0,45	9	204	15,00	8	10	0,30	6	378
5,20	29	32	0,45	9	213	15,20	11	14	0,45	9	387
5,40	17	20	0,45	9	222	15,40	22	25	0,45	9	396
5,60	8	10	0,30	6	228	15,60	18	21	0,45	9	405
5,80	4	6	0,30	6	234	15,80	16	19	0,45	9	414
6,00	1	2	0,15	3	237	16,00	11	14	0,45	9	423
6,20	1	2	0,15	3	240	16,20	19	22	0,45	9	432
6,40	1	2	0,15	3	243	16,40	24	27	0,45	9	441
6,60	1	2	0,15	3	246	16,60	30	33	0,45	9	450
6,80	1	2	0,15	3	249	16,80	35	38	0,45	9	459
7,00	1	2	0,15	3	252	17,00	44	47	0,45	9	468
7,20	1	2	0,15	3	255	17,20	23	26	0,45	9	477
7,40	1	2	0,15	3	258	17,40	18	21	0,45	9	486
7,60	1	2	0,15	3	261	17,60	11	14	0,45	9	495
7,80	1	2	0,15	3	264	17,80	8	10	0,30	6	501
8,00	1	2	0,15	3	267	18,00					
8,20	1	2	0,15	3	270	18,20					
8,40	1	2	0,15	3	273	18,40					
8,60	1	2	0,15	3	276	18,60					
8,80	1	2	0,15	3	279	18,80					
9,00	1	2	0,15	3	282	19,00					
9,20	1	2	0,15	3	285	19,20					
9,40	1	2	0,15	3	288	19,40					
9,60	1	2	0,15	3	291	19,60					
9,80	1	2	0,15	3	294	19,80					
10,00	1	2	0,15	3	297	20,00					

Gambar 2.5 Hasil pengujian tanah CPT (cone penetration test)



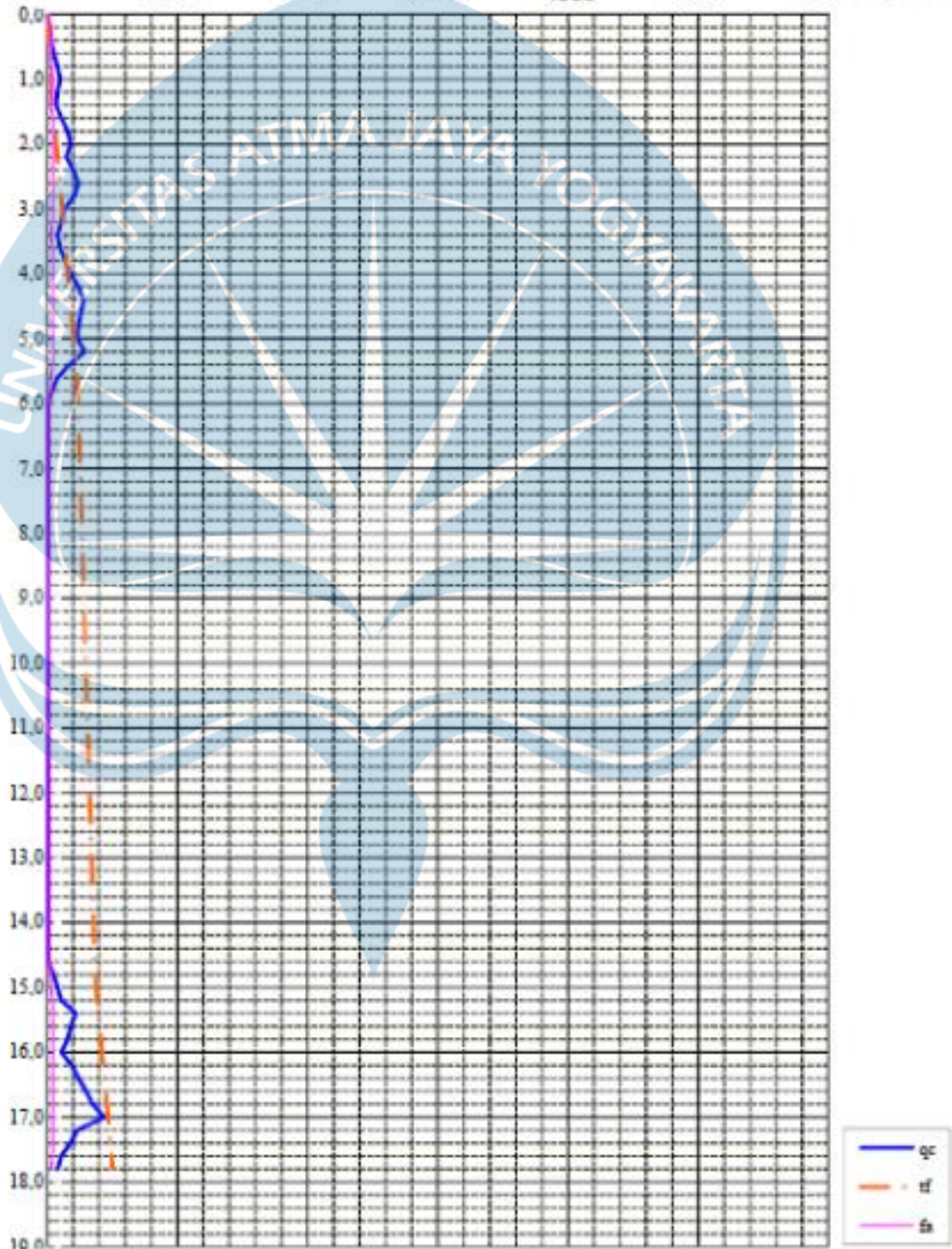
10 TON DUTCH CONE PENETRATION TEST

No. of CPT : SB. 2

Elevation : -1,00 meter dari muka jalan

Ground Water Depth : -9,00 meter dari muka tanah

ra	10	20	30	40	50	60	kg / cm ³
qc	100	200	300	400	500	600	kg / cm ²
tf	1000	2000	3000	4000	5000	6000	kg / cm ¹



Gambar 2.5 Hasil pengujian tanah CPT (cone penetration test) lanjutan.

2.2.2 Menentukan Kelas Situs

Berdasarkan data pada gambar 2.2 dapat diketahui bahwa pengujian tanah yang dilakukan memiliki kedalaman tanah hingga 35 meter. Pada kedalaman 1-10 meter didominasi dengan tanah lanau sedikit lempung berwarna coklat merah, kemudian pada kedalaman 11-22 meter didominasi dengan tanah lanau lempung berwarna coklat, dan pada kedalaman 23-35 meter didominasi dengan tanah lanau lempung berwarna coklat abu-abu. Berdasarkan data yang didapatkan, dapat diketahui bahwa tanah pada lokasi pembangunan Gedung *Co-Working Space* di Bantul dari kedalaman 1 meter hingga 35 meter didominasi oleh tanah lanau lempung. Data SPT yang didapatkan dapat digunakan untuk menentukan klasifikasi situs dengan pedoman SNI;1726-2019 tentang cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk strukturr Bangunan Gedung dan Non Gedung. Klasifikasi situs dilakukan dengan berdasarkan profil tanah yang dimiliki, profil tanah dapat dilihat hingga kedalaman 35 meter dari permukaan tanah dengan menggunakan tabel 2.1.

Tabel 2.1 Profil tanah berdasarkan kelas situs.

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser 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)		

Tabel 2.2 Kelas situs

Kedalaman (m)	Nilai SPT	Cb	Cs	Cr	N60	Kelas situs
1 – 2 m	6	1	1	-	0	SE (tanah lunak)
3 – 4 m	6	1	1	0,75	4,5	
5 - 6 m	16	1	1	0,85	13,6	
7 - 8 m	16	1	1	0,95	15,2	SD (tanah sedang)
9 - 10 m	17	1	1	1	17	
11 - 12 m	17	1	1	1	17	
13 – 14 m	18	1	1	1	18	
15 - 16 m	19	1	1	1	19	
17 - 18 m	10	1	1	1	10	SE (tanah lunak)
19 - 20 m	9	1	1	1	9	
21 - 22 m	9	1	1	1	9	
23 - 24 m	11	1	1	1	11	
25 - 26 m	11	1	1	1	11	
27 - 28 m	12	1	1	1	12	
29 - 30 m	14	1	1	1	14	
31 - 32 m	15	1	1	1	15	SD (tanah sedang)
33 - 34 m	18	1	1	1	18	

2.3 Penentuan Sistem Struktur

Sistem struktur yang direncanakan dalam perancangan proyek pembangunan *Co-Working Space* di Bantul sesuai dengan pedoman pada SNI 284:2019 dibedakan menjadi beberapa system sebagai berikut.

- 2.1 Sistem pemikul gaya seismik (*Seismic-force-resisting system*). Sistem ini adalah bagian struktur yang didesain untuk menahan gaya gempa. Pembangunan gedung umum yang dilakukan dengan menggunakan ketentuan yang sesuai dengan kombinasi beban yang legal.
- 2.2 Sistem rangka pemikul momen (*Moment frame*), merupakan rangka dimana terdapat komponen balok, pelat, kolom dan joint untuk menahan gaya lentur, gaya geser, dan gaya aksial.

- 2.3 Sistem rangka pemikul momen biasa atau (*Ordinary Moment Frame*). Rangka balok atau rangka kolom yang dicor ditempat yang memenuhi persyaratan. KDS D merupakan persyaratan desain seismik yang harus dimiliki oleh sebuah bangunan.

Tidak terdapat sistem rangka pemikul momen khusus dan sistem rangka pemikul momen menengah karena tidak terdapat sistem rangka yang mengharuskan bangunan *Co-Working Space* di Bantul ini menggunakan sistem rangka kolom dan pelat dua arah yang harus di cor di tempat.

2.4 Perencanaan Pembebanan Struktur

1. Pembebanan gedung *Co-working space*

a. Berat satuan lantai atap

Diketahui tebal pelat atap sebesar 120 mm, waterproofing sebesar 1,2 kN/m², plafond dan MEP sebesar 0,25 kN/m² maka untuk menghitung berat sendiri pada pelat menggunakan rumus

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri atap} &= \text{tebal pelat} \times \text{jumlah pelat} \\ &= 0,12 \times 23 \\ &= 2,76 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Hasil dari Dead Load merupakan penjumlahan dari data yang diketahui yaitu sebesar 4,86 kN/m². Namun saat input ke dalam software harus dikurangi dengan berat sendiri pelat yaitu 2,88 kN/m.

b. Beban satuan lantai tipikal

Dapat diketahui tebal pelat lantai sebesar 120 mm, berat sendiri pelat sebesar 2,88 kN/m², berat pasir sebesar 0,85 kN/m², berat spesi sebesar 0,46 kN/m², berat keramik sebesar 0,24 kN/m², berat plafond + penggantung sebesar 0,18 kN/m², berat MEP sebesar 0,25 kN/m², berat beban mati (SIDL) sebesar 1,98 kN/m², sehingga total beban mati (DL) sebesar 4,86 kN/m², dan berat beban hidup sebesar (LL) sebesar 4,79 kN/m².

c. Berat satuan Kolom dan Balok

Berikut merupakan gaya balok dan kolom yang terjadi pada gedung *Co-Working Space*.

Menentukan pembebanan balok dan kolom menggunakan rumus:

Balok = luas dimensi balok x berat jenis beton

Kolom = luas dimensi kolom x berat jenis beton

Berikut merupakan gaya balok dan kolom yang terdapat pada gedung:

BI 300x600 = $600 \times 300 \times 30 = 5,4 \text{ kN/m}$

BI 250x450 = $3,375 \text{ kN/m}$

BA 250x450 = $3,375 \text{ kN/m}$

K1 700 x 700 = $1,47 \text{ kN/m}$

K2 600 x 600 = $1,08 \text{ kN/m}$

Setelah berat satuan lantai diketahui maka dapat menghitung berat seismik efektif bangunan tiap lantai dengan menjumlahkan besar pelat lantai, balok, dan kolom yang terdapat pada lantai tersebut. Rumus dapat diketahui sebagai berikut:

Pelat lantai = Luas lantai x berat satuan lantai

Balok = panjang x lebar x berat satuan balok

Kolom = Jumlah kolom x tinggi lantai x berat satuan kolom

Sehingga dengan rumus berikut untuk lantai satu sebagai berikut

Pelat lantai = $78,34 \times 4,86$

= $380,73 \text{ kN}$

BI 300x600 = $(40 \times 8) \times (0,3 \times 8) \times 5,4$

= $518,4 \text{ kN}$

BI 250x450 = $(27 \times 7) \times (0,25 \times 7) \times 3,375$

= $159,47 \text{ kN}$

K2 600 x 600 = $36 \times 4,3 \times 1,08$

= $167,18 \text{ kN}$

Berat seismik efektif (W1) merupakan penjumlahan dari perhitungan diatas yaitu 1225,78 kN, untuk lantai dua sebagai berikut

Pelat lantai = $78,34 \times 4,86$

= $380,73 \text{ kN}$

BI 300x600 = $(40 \times 8) \times (0,3 \times 8) \times 5,4$

$$\begin{aligned}
 &= 518,4 \text{ kN} \\
 \text{BI } 250 \times 450 &= (27 \times 7) \times (0,25 \times 7) \times 3,375 \\
 &= 159,47 \text{ kN} \\
 \text{K1 } 700 \times 700 &= 36 \times 4,3 \times 1,47 \\
 &= 227,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berat seismik efektif (W2) merupakan penjumlahan dari perhitungan diatas yaitu 1286,16 kN, untuk lantai tiga sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat lantai} &= 78,34 \times 4,86 \\
 &= 380,73 \text{ kN} \\
 \text{BI } 300 \times 600 &= (40 \times 8) \times (0,3 \times 8) \times 5,4 \\
 &= 518,4 \text{ kN} \\
 \text{BI } 250 \times 450 &= (27 \times 7) \times (0,25 \times 7) \times 3,375 \\
 &= 159,47 \text{ kN} \\
 \text{K1 } 700 \times 700 &= 36 \times 4,3 \times 1,47 \\
 &= 227,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

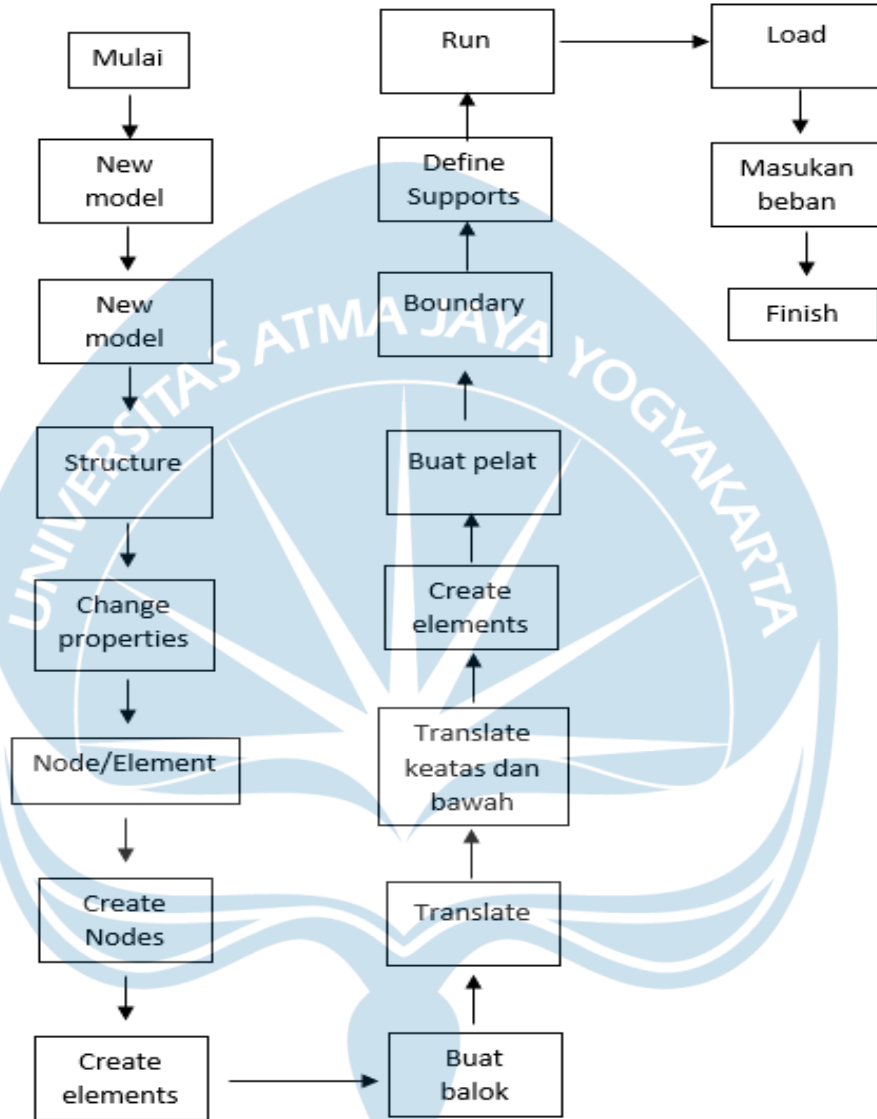
Berat seismik efektif (W3) merupakan penjumlahan dari perhitungan diatas yaitu 1286,16 kN, untuk lantai dua sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat atap} &= 78,34 \times 4,76 \\
 &= 372,89 \text{ kN} \\
 \text{BI } 300 \times 600 &= (40 \times 8) \times (0,3 \times 8) \times 5,4 \\
 &= 518,4 \text{ kN} \\
 \text{BI } 250 \times 450 &= (27 \times 7) \times (0,25 \times 7) \times 3,375 \\
 &= 159,47 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berat seismik efektif (W atap) merupakan penjumlahan dari perhitungan diatas yaitu 1286,16 kN, Berat mati total (W) merupakan penjumlahan dari W1, W2, W3, dan W atap yaitu sebesar 5023,88 kN

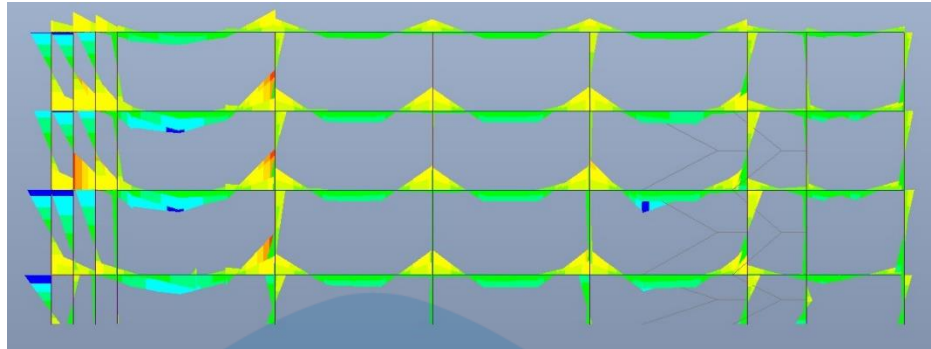
2.5 Pemodelan Struktur

Pembuatan pemodelan struktur di *Co-Working Space* di Bantul ini menggunakan software Midas-Gen dengan langkah-langkah sebagai berikut.

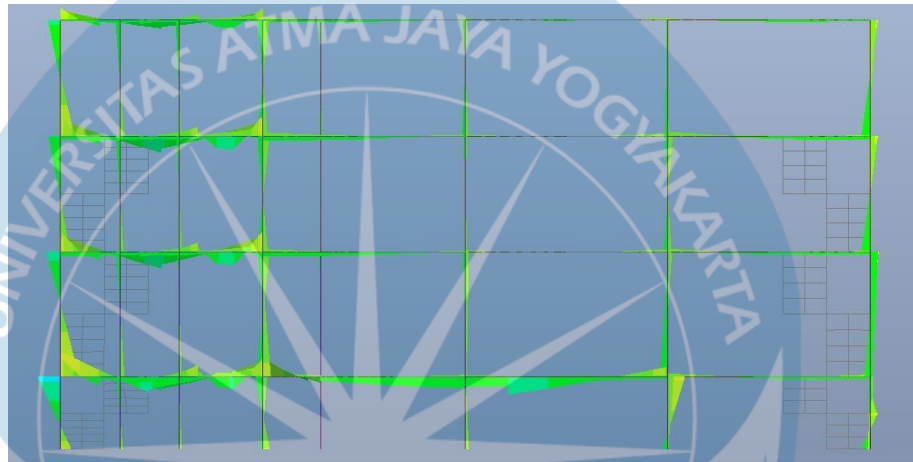


Gambar 2.7 Langkah-langkah pemodelan struktur dengan *midas gen*.

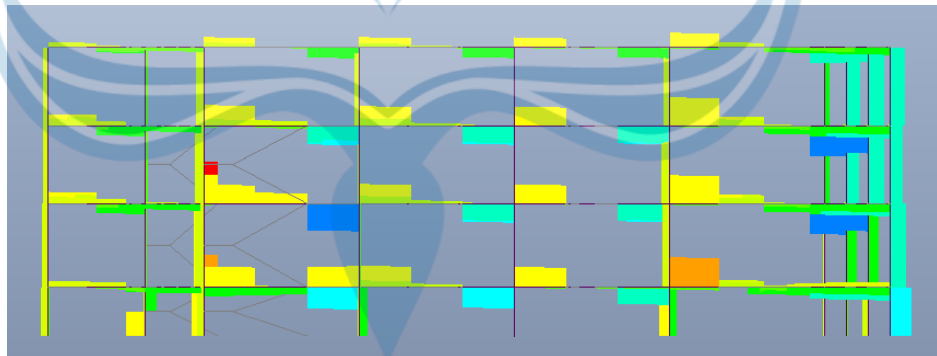
2.6 Interpretasi output pemodelan struktur



Gambar 2.8 BMD *Co-Working Space* dari tampak depan



Gambar 2.9 BMD *Co-Working Space* dari tampak samping



Gambar 2.10 SFD *Co-Working Space* dari tampak depan



Gambar 2.11 SFD *Co-Working Space* dari tampak samping

2.7 Perancangan Struktur Atap

Struktur atap adalah bagian teratas suatu struktur yang berfungsi sebagai penutup dan pelindung dari cuaca panas dan hujan serta elemen-elemen lingkungan lainnya, serta memberikan penampilan elastis pada suatu bangunan. Atap juga memiliki beberapa jenis atau tipe dimana Tipe tersebut yang membuat bentuk atap lebih bervariasi. Beberapa Tipe atau Jenis atap adalah sebagai berikut:

1. Atap tumpang (*gable roof*): Merupakan jenis atap yang paling umum. Atap ini membentuk segitiga dan memiliki dua kemiringan yang bertemu di puncak bangunan.
2. Atap miring (*hip roof*): Atap ini memiliki empat sisi dengan semua sisi yang miring ke bawah menuju dinding luar. Hal ini membuatnya lebih tahan terhadap angin dan badai.
3. Atap cembung (*dome roof*): Berbentuk kubah dan umumnya ditemukan pada bangunan dengan arsitektur khusus seperti gereja, masjid, atau bangunan bersejarah.
4. Atap datar atau dak beton (*flat roof*): Atap ini datar dan sering digunakan pada bangunan komersial atau modern. Namun, atap datar dapat memiliki kemiringan minimal untuk pembuangan air hujan.

Namun pada bangunan Gedung *Co-Working Space* di Bantul. Pada desain arsitektur yang diberikan adalah tipe atap datar atau dak beton, desain pelat atap

terbagi menjadi 2 jenis yaitu pelat atap 1 arah dan pelat atap 2 arah. Berikut data dan perhitungan desain pelat atap Gedung *Co-Working Space* di Bantul dengan menggunakan SNI 8900:2020.

A. Perhitungan pelat atap 1 arah

- Bentang panjang (l_y) = 7000 mm = 7 m
- Bentang Pendek (l_x) = 2700 mm = 2,7 m
- f'_c = 30 MPa
- BjTS 420B = 420 MPa
- Selimut Beton (cc) = 20 mm
- Diameter tulangan lentur = 10 mm
- Tebal pelat = 120 mm
- As tulangan = $\frac{\pi}{4} \times d. \text{tulangan lentur}^2$
= 78,54 mm²
- d_x = $tp - cc - \frac{D10}{2}$
= 95 mm
- d_y = $tp - cc - D10 - \frac{D10}{2}$
= $120 - 20 - 10 - \frac{10}{2}$
= 85 mm
- β = l_y/l_x
= 7000 / 2700
= 2590 mm = 2,59 m
- Beban Hidup (LL) = 4,79 kN/m²
- Beban Mati (DL) = 4,86 kN/m²
- Q_u = 1,2DL + 1,6LL
= 13,49 kN/m²
- **Perhitungan momen**
- l_n = $l_x - \frac{1}{2} \text{ lebar b.induk} - \frac{1}{2} \text{ lebar b.anak}$
= 2700 - 125 - 125
= 2450 mm
- $M_u (-)$ = $\frac{q_u \times l_n^2}{24}$

$$= \frac{13,49 \times 2450^2}{24}$$

$$= 9001082,22 \text{ Nmm} = 90,01 \text{ kNm}$$

- Mu (+)

$$= \frac{qu \times ln^2}{8}$$

$$= \frac{13,49 \times 2450^2}{8}$$

$$= 7364521,82 \text{ Nmm} = 73,65 \text{ kNm}$$

Perhitungan diatas tadi merupakan perhitungan pada pelat di posisi F, akan tetapi pada pelat lantai masih terdapat pelat G dan H yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Perhitungan momen pelat satu arah.

Plat	Posisi	ln (mm)	Mu (-) Nmm	Mu (-) kNm	Mu (+)	Mu (+) kNm	Mu (-) (maks)	Mu (+) (maks)
A	Eksterior	2450	3375405,83	33,75	7364521,82	73,65	9001082,22	7364521,82
	Interior	2450	9001082,22	90,01	5063108,75	50,63	9001082,22	7364521,82
B	Eksterior	2250	2846812,50	28,47	6211227,27	62,11	7591500,00	6211227,27
	Interior	2250	7591500,00	75,92	4270218,75	42,70	7591500,00	6211227,27
C	Eksterior	2250	2846812,50	28,47	6211227,27	62,11	7591500,00	6211227,27
	Interior	2250	7591500,00	75,92	4270218,75	42,70	7591500,00	6211227,27
D	Eksterior	2600	3801373,33	38,01	8293905,45	82,94	9123296,00	8293905,45
	Interior	2600	9123296,00	91,23	5702060,00	57,02	9123296,00	8293905,45

• Menghitung kuat geser

- Ln = lx - ½ lebar b.induk - ½ lebar b.anak
= 2700 - 125 - 125
= 2450 mm

- Vu = 1,15 x $\frac{qu \times ln}{2}$
= 1,15 x $\frac{13,49 \times 2450^2}{2}$
= 19012,49 N = 19,01 kN

- $\phi Vc = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c \times bw \times d}$
= 0,17 x $\lambda \times \sqrt{30 \times 1000 \times 95}$

$$= 48,79$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ k (tumpuan)} &= \frac{Mu-}{0,9 \times bw \times d^2} \\
 &= \frac{90,01}{0,9 \times 1000 \times 95^2} \\
 &= 1,11
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ k (lapangan)} &= \frac{Mu+}{0,9 \times bw \times d^2} \\
 &= \frac{73,65}{0,9 \times 1000 \times 95^2} \\
 &= 0,91
 \end{aligned}$$

Perhitungan diatas tadi merupakan perhitungan pada pelat di posisi F, akan tetapi pada pelat lantai masih terdapat pelat G dan H yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perhitungan kuat geser pelat

Plat	Posisi	ln (mm)	Vu (N)	Vu (kN)	ϕVc	Cek $\phi Vc \geq Vu$	k (tumpuan)	k (lapangan)
A	Eksterior	2450	19012,49	19,01	48,79	OK	1,11	0,91
	Interior	2450	19012,49	19,01	48,79	OK	1,11	0,62
B	Eksterior	2250	17460,45	17,46	48,79	OK	0,93	0,76
	Interior	2250	17460,45	17,46	48,79	OK	0,93	0,53
C	Eksterior	2650	20564,53	20,56	48,79	OK	0,93	0,76
	Interior	2650	20564,53	20,56	48,79	OK	0,93	0,53
D	Eksterior	2650	20564,53	20,56	48,79	OK	1,12	1,02
	Interior	2650	20564,53	20,56	48,79	OK	1,12	0,70

- **Penulangan menggunakan tulangan lentur D10**

$$\begin{aligned}
 - \text{ Rasio penulangan } (\rho) &= \frac{0,85 f'c}{f'c} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \times f'c}}\right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30}{30} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,11}{0,85 \times 30}}\right) \\
 &= 0,0027
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Rasio maks } (\rho \text{ maks}) &= 0,36 \times \left(\frac{0,85 \times f'c \times d}{f_y}\right) \\
 &= 0,36 \times \left(\frac{0,85 \times 30 \times 95}{420}\right)
 \end{aligned}$$

$$= 0,02$$

$$\rho < \rho \text{ maks ; } 0,02 < 0,0325 \text{ (OK)}$$

- As req $= \rho \times b_w \times d$
 $= 0,02 \times 1000 \times 95$
 $= 256,35 \text{ mm}^2$
- As min 1 $= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$
 $= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 120000$
 $= 216 \text{ mm}^2$
- As use $= 256,35 \text{ mm}^2$
- Spasi tul. Lentur (S.tul) $= \frac{\frac{\pi}{4} \times D10^2 \times b_w}{As \text{ use}}$
 $= \frac{\frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 1000}{256,35}$
 $= 306,37 \text{ mm}$
- Spasi maks (S.maks) $= 3 \times \text{tebal pelat}$
 $= 3 \times 120$
 $= 360 \text{ mm}$
- Spasi pakai (S.use) $= 300 \text{ mm}$
- Kebutuhan jumlah tul. (n) $= \frac{As \text{ use}}{0,25 \times \pi \times D10^2}$
 $= \frac{256,35}{0,25 \times \pi \times 10^2}$
 $= 3,26$
- Jumlah tul. Dipakai (n use) $= 4$

Digunakan tulangan lentur **D10 – 300**

Perhitungan diatas tadi merupakan perhitungan tulangan lentur pada pelat di posisi F, akan tetapi pada pelat lantai masih terdapat pelat G dan H yang dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Rekap penulangan pelat satu arah.

Plat	Posisi	Tulangan Lentur
A	Eksterior	D10-300
	Interior	D10-300
B	Eksterior	D10-300
	Interior	D10-300
C	Eksterior	D10-300
	Interior	D10-300
D	Eksterior	D10-300
	Interior	D10-300

B. Perhitungan pelat atap 2 arah

- Bentang pendek (l_a) = 2700 mm
- Bentang panjang (l_b) = 4950 mm
- f'_c = 30 MPa
- BjTS 420B = 420 MPa
- Selimut Beton (cc) = 20 mm
- Diameter tulangan lentur = 13 mm
- Tebal pelat = 120 mm
- As tulangan = $\frac{\pi}{4} \times d. \text{tulangan}^2$
 $= \frac{\pi}{4} \times 13^2$
 $= 132,73 \text{ mm}^2$
- dx = $tp - cc - \frac{D13}{2}$
 $= 120 - 20 - \frac{13}{2}$
 $= 93,5 \text{ mm}$
- dy = $tp - cc - D13 - \frac{D13}{2}$
 $= 120 - 20 - 13 - \frac{13}{2}$
 $= 80,5 \text{ mm}$
- β = l_b / l_a
 $= 1,8$

- Beban Hidup (LL) = 4,79 kN/m²
- Beban Mati (DL) = 4,86 kN/m²
- Qu = 1,2 DL + 1,6 LL
= 1,2 (4,86) + 1,6 (4,79)
= 13,496 kN/m²

Perhitungan moment negatif, moment positif dan fraksi beban untuk penampang interior dengan β adalah 1,8 sebagai berikut

i. Bentang pendek (la)

- Mu (-) = $\frac{qu la^2}{12}$
= $\frac{13,496 \times 2,7^2}{12}$
= 8,19 kNm
- Mu (+) = $\frac{qu la^2}{20}$
= $\frac{13,496 \times 2,7^2}{20}$
= 4,92 kNm
- Fraksi beban (αa) = 0,92 (SNI 8900 : 2020)

ii. Bentang panjang (lb)

- Mu (-) = $\frac{qu lb^2}{135}$
= $\frac{13,496 \times 4,95^2}{135}$
= 2,45 kNm
- Mu (+) = $\frac{qu lb^2}{225}$
= $\frac{13,496 \times 4,95^2}{225}$
= 1,47 kNm
- Fraksi beban (αb) = 0,08

Perhitungan gaya geser (V_u) untuk penampang interior dengan β adalah 1,8 sebagai berikut

i. Bentang pendek (l_a)

$$\begin{aligned}
 - V_u 1 &= \frac{\alpha b \times q_u \times l_b}{2} \\
 &= \frac{0,4 \times 13,496 \times 4,95}{2} \\
 &= 2,67 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - V_u 2 &= \frac{q_u \times l_a}{4} \\
 &= \frac{13,496 \times 2,7}{4} \\
 &= 9,11 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

ii. Bentang panjang (l_b)

$$\begin{aligned}
 - V_u 1 &= \frac{\alpha b \times q_u \times l_a}{2} \\
 &= \frac{0,4 \times 13,496 \times 2,7}{2} \\
 &= 16,76 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - V_u 2 &= q_u \left(\frac{l_a}{2} - \frac{l_a^2}{4l_b} \right) \\
 &= 13,496 \left(\frac{2,7}{2} - \frac{2,7^2}{4 \times 4,95} \right) \\
 &= 13,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$- V_u \text{ pendek dipakai} = V_u 2 = 9,11 \text{ kN}$$

$$- V_u \text{ Panjang dipakai} = V_u 1 = 16,76 \text{ kN}$$

Perhitungan moment negatif, moment positif dan fraksi beban untuk penampang tepi dengan L_a sejajar dengan tepi pelat dengan β adalah 1,8 sebagai berikut

i. Bentang pendek (l_a)

$$- \text{Mu} (-) = \frac{qu la^2}{12}$$

$$= 55,109 \text{ kNm}$$

$$- \text{Mu} (+) = \frac{qu la^2}{21}$$

$$= 31,491 \text{ kNm}$$

$$- \text{Fraksi beban } (\alpha a) = 0,93$$

ii. Bentang panjang (l_b)

$$- \text{Mu} (-) = \frac{qu la^2}{135}$$

$$= 12,928 \text{ kNm}$$

$$- \text{Mu} (+) = \frac{qu la^2}{160}$$

$$= 10,928 \text{ kNm}$$

$$- \text{Fraksi beban } (\alpha b) = 0,07$$

Perhitungan gaya geser (V_u) untuk penampang tepi dengan L_a sejajar tepi pelat dengan β adalah 1,8 sebagai berikut

i. Bentang pendek (l_a)

$$- V_u 1 = \frac{\alpha b \times qu \times l_b}{2}$$

$$= 5,37 \text{ kN}$$

$$- V_u 2 = \frac{qu \times l_a}{4}$$

$$= 23,62 \text{ kN}$$

ii. Bentang panjang (l_b)

$$- V_u 1 = \frac{\alpha b \times qu \times l_a}{2}$$

$$= 43,93 \text{ kN}$$

$$- V_u 2 = qu \left(\frac{l_a}{2} - \frac{l_a^2}{4l_b} \right)$$

$$= 32,69 \text{ kN}$$

$$- V_u \text{ pendek dipakai} = V_u 2 = 23,62 \text{ kN}$$

- Vu Panjang dipakai = Vu1 = 43,93 kN

Perhitungan rasio bentang panjang Pelat A arah negatif dan positif untuk penampang interior

Arah Negatif

- Vu = 16,76 kN

- k = $\frac{Mu (-) \times 10^6}{0,9 \times b \times dx^2}$
 $= \frac{12,928 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 93,5^2}$
 $= 0,31$

- $\rho = \frac{0,85 f'c}{fy} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \times f'c}}\right)$
 $= \frac{0,85 \times 30}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,31}{0,85 \times 30}}\right)$
 $= 0,0007$

- $\rho \text{ maks} = 0,36 \times \left(\frac{f'c \times \beta}{fy}\right)$
 $= 0,36 \times \left(\frac{30 \times 1,8}{420}\right)$
 $= 0,047$

Arah Positif

- Vu = 16,76 kN

- k = $\frac{Mu (+) \times 10^6}{0,9 \times b \times dx^2}$
 $= 0,19$

- $\rho = \frac{0,85 f'c}{fy} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \times f'c}}\right)$
 $= 0,0004$

- $\rho \text{ maks} = 0,36 \times \left(\frac{0,85 \times f'c \times d}{fy}\right)$
 $= 0,047$

Perhitungan Rasio bentang panjang Pelat A arah negatif dan positif untuk penampang tepi dengan L_a sejajar dengan tepi pelat.

Arah Negatif

- $V_u = 16,76 \text{ kN}$
- $k = \frac{M_u (-) \times 10^6}{0,9 \times b \times d^2} = 10,08$
- $\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \times f'c}}\right) = 0,03$
- $\rho_{\text{maks}} = 0,36 \times \left(\frac{0,85 \times f'c \times d}{f_y}\right) = 0,047$

Arah Positif

- $V_u = 16,76 \text{ kN}$
- $k = \frac{M_u (+) \times 10^6}{0,9 \times b \times d^2} = 0,19$
- $\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \times f'c}}\right) = 0,00045$
- $\rho_{\text{maks}} = 0,36 \times \left(\frac{0,85 \times f'c \times d}{f_y}\right) = 0,048$

• **Penulangan di tumpuan menggunakan tulangan lentur D13**

Arah negatif

- $A_s \text{ req} = \rho \times d \times b = 0,0115 \times 80,5 \times 1000 = 60,04 \text{ mm}$
- $A_s \text{ min} = 0,002 \times b \times \text{tebal pelat} = 0,002 \times 1000 \times 120$

$$\begin{aligned}
 &= 240 \text{ mm} \\
 - \text{ As use} &= \text{max dari As req atau As min} \\
 &= 240 \text{ mm} \\
 - \text{ S use} &= \frac{\frac{\pi}{4} \times D13^2 \times bw}{As \text{ use}} \\
 &= \frac{\frac{\pi}{4} \times 13^2 \times 1000}{240} \\
 &= 553,05 \text{ mm} \\
 - \text{ S maks} &= 3 \times \text{tebal pelat} \\
 &= 3 \times 120 \\
 &= 360 \text{ mm} \\
 - \text{ Jumlah tulangan (n)} &= \frac{As \text{ use}}{As \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{240}{132,73} \\
 &= 1,8 \\
 - \text{ Jumlah tulangan dipakai} &= 2 \\
 - \text{ S pasang} &= 250 \text{ mm} \\
 &\text{Digunakan tulangan lentur D13 – 250}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi penulangan pelat atap dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Rekapitulasi penulangan pelat 2 arah.

Pelat	Bentang	Arah	Tulangan
E	Bentang panjang	Negatif	D10 – 250
E	Bentang panjang	Positif	D10 – 250
E	Bentang pendek	Negatif	D10 – 250
E	Bentang pendek	Positif	D10 – 250
H	Bentang panjang	Negatif	D10 – 250
H	Bentang panjang	Positif	D10 – 250
H	Bentang pendek	Negatif	D10 – 250
H	Bentang pendek	Positif	D10 – 250

2.8 Perancangan Balok

Perancangan balok digunakan dengan menggunakan referensi dari SNI 2847-2019, perancangan balok pada Bangunan *Co-Working Space* di Bantul terbagi menjadi balok induk dan balok anak dengan dimensi balok induk ukuran 600x300 mm dan 450x250 mm, sementara dimensi balok anak menggunakan ukuran 450x250 mm. Penggunaan balok anak mempertimbangkan bentang balok yang cukup panjang yaitu pada bentang 8 meter dan bentang 7 meter. Balok dirancang dengan menggunakan tulangan lentur dan tulangan susut, tulangan lentur dan tulangan susut memiliki diameter yang berbeda dan jumlah yang berbeda pada bagian tumpuan dan lapangan balok. Diameter tulangan lentur yang digunakan pada balok induk adalah D22 dan untuk tulangan susut adalah D10, sementara diameter tulangan lentur yang digunakan pada balok anak adalah D19 dan untuk tulangan susut adalah D8.

2.8.1 Penulangan Lentur Balok Induk

Langkah awal dalam merancang penulangan balok adalah dengan melakukan analisis terhadap gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur bangunan, gaya-gaya dalam diambil dari penggunaan *software* midas yang telah dilakukan penggambaran struktur sesuai dengan perencanaan arsitektur yang telah direncanakan. Setelah mendapatkan hasil gaya-gaya dalam dari struktur melalui *software* midas kemudian dilakukan perhitungan ketahanan dari campuran beton serta tulangan yang akan digunakan pada struktur balok. Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan penulangan lentur balok induk.

Data perancangan penulangan lentur balok induk (600x300) mm :

- Tinggi Balok (h) = 600 mm
- Lebar balok (b) = 300 mm
- Panjang bentang balok = 8000 mm
- Mutu Beton ($f'c$) = 30 MPa
- Mutu tulangan deform (BjTS 420B) = 420 MPa
- Diameter Tulangan Lentur = 19 mm
- Diameter Tulangan Sengkang = 8 mm
- Selimut Beton = 40 mm

Output gaya dalam melalui *software* midas dengan menggunakan kombinasi pembebanan dari SNI;2847-2019, yaitu $Mu = 1,2DL + 1,6LL$:

- Mu (-) tumpuan = 568,02 kNm
= 568020000 Nmm
- Mu (+) tumpuan = 76,38 kNm
= 76380000 Nmm
- Mu lapangan = 209,01 kNm
= 209010000 Nmm

Momen maksimum (Mu) yang didapatkan diubah menjadi momen nominal diperlukan (Mn req) dengan memperhitungkan faktor reduksi kekuatan pada struktur yang mengalami gaya lentur dan aksial berdasarkan tabel 21.2.2 SNI;2847-2019. Faktor reduksi kekuatan diambil 0,9 dengan memperkirakan $\epsilon_s \geq 0,005$. Daftar faktor reduksi kekuatan dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor reduksi kekuatan.

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

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

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

- Momen nominal dibutuhkan (Mn req) = $\frac{Mu}{\phi}$
- Mn req tumpuan (-) = $\frac{568020000}{0,9}$
= 631133333,33 Nmm
- Mn req tumpuan (+) = $\frac{76380000}{0,9}$
= 84866666,66 Nmm
- Mn req lapangan = $\frac{209010000}{0,9}$

$$= 232233333,33 \text{ Nmm}$$

Dilanjutkan dengan perhitungan tinggi balok tekan beton dan letak garis netral (a dan c), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$- a = d \pm \left(d^2 - \left(\frac{2 \times Mn \text{ req}}{0,85 \times f'c \times b} \right) \right)$$

$$- d = h - Cc - 20$$

$$a \text{ tumpuan (-)} = 600 \pm \left(600^2 - \left(\frac{2 \times 631133333,3}{0,85 \times 30 \times 300} \right) \right)$$

$$= 184,194$$

$$a \text{ tumpuan (+)} = 20,950$$

$$a \text{ lapangan} = 59,494$$

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

$$- \beta_1 = 0,85 - \left(\frac{0,05 \times (f'c - 28)}{7} \right)$$

$$- \beta_1 = 0,85 - \left(\frac{0,05 \times (30 - 28)}{7} \right) = 0,835$$

$$c \text{ tumpuan (-)} = \left(\frac{184,194}{0,835} \right)$$

$$= 220,403$$

$$c \text{ tumpuan (+)} = 25,068$$

$$c \text{ lapangan} = 71,190$$

Dilanjutkan dengan melakukan pengecekan apakah tulangan terkendali tarik atau tidak dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

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

$$\epsilon_s \text{ tumpuan (-)} = \frac{0,003 (540 - 220,403)}{220,403}$$

$$= 0,004350 \geq 0,004$$

$$\epsilon_s \text{ tumpuan (+)} = 0,019755 \geq 0,004$$

$$\epsilon_s \text{ lapangan} = 0,061622 \geq 0,004$$

$E_s \geq 0,04$ maka tulangan terkendali tarik dengan tipe tulangan tunggal, selanjutnya kebutuhan luas tulangan ($A_s \text{ req}$) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$- A_s \text{ req} = \frac{0,85 \times f_c \times a \times b}{B_j T S 420 B \text{ tulangan}}$$

$$A_s \text{ req tumpuan (-)} = \frac{0,85 \times 30 \times 184,194 \times 300}{420}$$

$$= 3354,964 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ req tumpuan (+)} = 381.593 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ req lapangan} = 1083.652 \text{ mm}^2$$

Setelah mendapatkan kebutuhan luas tulangan ($A_s \text{ req}$) dilanjutkan dengan melakukan kontrol terhadap tulangan terpasang dengan melakukan perhitungan kebutuhan tulangan (n) dan kebutuhan luas tulangan terpasang ($A_s \text{ use}$) menggunakan persamaan berikut

$$- n = \frac{A_s \text{ req}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{A_s \text{ req}}{\left(\frac{\pi \times D_{tul}^2}{4}\right)}$$

$$n \text{ use tumpuan (-)} = \frac{3354,96}{\left(\frac{\pi \times 25^2}{4}\right)}$$

$$= 6,83 \text{ (digunakan 7)}$$

$$n \text{ use tumpuan (+)} = 0,777 \text{ (digunakan 2)}$$

$$n \text{ use lapangan} = 2,207 \text{ (digunakan 5)}$$

$$- A_s \text{ use} = n \times A_s \text{ tulangan}$$

$$A_s \text{ use tumpuan (-)} = 4417,864 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ use tumpuan (+)} = 981.747 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ use lapangan} = 2454.369 \text{ mm}^2$$

Setelah mendapatkan jumlah tulangan dan kebutuhan luas tulangan yang dipakai, selanjutnya dilakukan kontrol tulangan dengan memperhitungkan luas kebutuhan tulangan maksimum ($A_s \text{ maks}$) dan luas kebutuhan tulangan minimum ($A_s \text{ min}$), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 - \text{As maks} &= \frac{0,36 \times \beta_1 \times f_c \times b \times d}{BjTS 420B \text{ tulangan}} \\
 \text{As maks tumpuan (-)} &= \frac{0,36 \times 0,835 \times 30 \times 300 \times 540}{420} \\
 &= 3481.346 \text{ mm}^2 \\
 \text{As maks tumpuan (+)} &= 3481.346 \text{ mm}^2 \\
 \text{As maks lapangan} &= 3481.346 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{As min 1} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{Bjts420B \text{ tulangan}} \times b \times d \\
 - \text{As min 2} &= \frac{1,4}{BjTS 420B \text{ tulangan}} \times b \times d \\
 - \text{As min 1 tumpuan (-)} &= \frac{0,25 \sqrt{30}}{420} \times 300 \times 540 \\
 &= 528.161 \text{ mm}^2 \\
 - \text{As min 2 tumpuan (-)} &= \frac{1,4}{420} \times 300 \times 540 \\
 &= 540 \text{ mm}^2 \\
 - \text{As min 1 tumpuan (+)} &= 528.161 \text{ mm}^2 \\
 - \text{As min 2 tumpuan (+)} &= 540 \text{ mm}^2 \\
 - \text{As min 1 lapangan} &= 528.161 \text{ mm}^2 \\
 - \text{As min 2 lapangan} &= 540 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang telah dilakukan pada kebutuhan luas tulangan terpasang (As use), kebutuhan luas tulangan minimal (As min), dan kebutuhan luas tulangan maksimal (As maks) telah dilakukan. Hasil dari perhitungan harus memenuhi syarat dimana $As \text{ min} < As \text{ use} < As \text{ maks}$. Setelah memenuhi syarat, dilakukan pengecekan spasi tulangan berdasarkan tabel 24.3.2 SNI : 2847-2019 untuk spasi maksimum dan berdasarkan pasal 25.2.1 untuk spasi minimum dengan persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 - \text{Smaks 1} &= 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ cc} \\
 - \text{Smaks 2} &= 300 \left(\frac{280}{f_s} \right) \\
 - \text{Smin} &\text{ diambil 25 mm berdasarkan SNI;2847-2019} \\
 - \text{Smaks 1 tumpuan (-)} &= 380 \left(\frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 - 40
 \end{aligned}$$

- = 280 mm
- Smaks 2 tumpuan (-) = $300 \left(\frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$
- = 300 mm
- Smaks 1 tumpuan (+) = 280 mm
- Smaks 2 tumpuan (+) = 300 mm
- Smaks 1 lapangan = 280 mm
- Smaks 2 lapangan = 300 mm

Diambil jarak tulangan (s) 25 mm sehingga penulangan utama yang digunakan pada balok induk ini adalah 9D25 untuk tumpuan (-), 5D25 untuk lapangan, dan 2D25 untuk tumpuan (+).

Rekapitulasi penulangan lentur balok dapat dilihat pada tabel 2.9 hingga tabel 2.16.

Tabel 2.9 Penulangan utama balok induk lantai 1 300 x 600 mm.

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
d Tul.Lentur (mm)	25	25	25
d Tul.Sengkang (mm) asumsi	10	10	10
BjTS (MPa)	420	420	420
Fc (MPa)	30	30	30
Selimit Beton (mm)	40	40	40
Mu MIDAS (Nmm)	568020000	284010000	76380000
\emptyset	0.9	0.9	0.9
Mn (Mu/ \emptyset) (Nmm)	631133333.3	315566666.7	84866666.67
d (mm)	540	540	540
Nilai a	184.19	82.73	20.95
$\beta 1$	0.84	0.84	0.84
Nilai c	220.40	98.99	25.07
ϵ_s penampang terkendali tarik	0.0044	0.0134	0.0616
tulangan leleh (fs=fy)	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$
As req	3354.96	1506.81	381.59
n	6.83	3.07	0.78

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
n lapangan	7	5	2
As use	3436.12	2454.37	981.75
As min 1	528.16	528.16	528.16
As min 2	540	540	540
As max	3481.35	3481.35	3481.35
	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!
Cek spasi tulangan s1 (mm)	20,43	29	74
s minimum (mm)	25	25	25
s maximum 1 (mm)	280	280	280
s maximum 2 (mm)	300	300	300
cek tulangan apakah sudah leleh es	0.04350 $\phi = 0,9$ (oke !!!)	0.13365 $\phi = 0,9$ (oke !!!)	0.61622 $\phi = 0,9$ (oke !!!)
Mn (Nmm)	646399691.2	514012178.1	218341127.4
ϕ Mn	581.760	462.611	196.507
Cek kapasitas lentur balok	ϕ Mn > Mu Oke !!!	ϕ Mn > Mu Oke !!!	ϕ Mn > Mu Oke !!!
Kesimpulan Menggunakan Tulangan	9D25	5D25	2D25

Tabel 2.10 Penulangan utama balok induk lantai 1 250 x 450 mm.

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
d Tul.Lentur (mm)	25	25	25
d Tul.Sengkang (mm) asumsi	10	10	10
BjTS (MPa)	420	420	420
Fc (MPa)	30	30	30
Selimut Beton (mm)	40	40	40
Mu MIDAS (Nmm)	237020000	118510000	212900000
ϕ	0.9	0.9	0.9
Mn (Mu/ ϕ) (Nmm)	263355555.6	131677777.8	236555555.6

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
d (mm)	390	390	390
Nilai a	126.41	57.15	110.92
$\beta 1$	0.84	0.84	0.84
Nilai c	151.26	68.38	132.72
ϵ_s penampang terkendali tarik	0.0047	0.0141	0.0058
tulangan leleh ($f_s=f_y$)	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$
As req	1918.75	867.45	1683.58
n	3.91	1.77	3.43
n lapangan	5	2	4
As use	2454.37	981.75	1963.50
As min 1	317.87	317.87	317.87
As min 2	325	325	325
As max	2095.26	2095.26	2095.26
	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!
Cek spasi tulangan s1 (mm)	19	49	24
s minimum (mm)	25	25	25
s maximum 1 (mm)	280	280	280
s maximum 2 (mm)	300	300	300
cek tulangan apakah sudah leleh ϵ_s	0.04735 $\emptyset = 0,9$ (oke !!!)	0.14109 $\emptyset = 0,9$ (oke !!!)	0.05815 $\emptyset = 0,9$ (oke !!!)
Mn (Nmm)	336870737.4	149027891.5	275885081.6
$\emptyset Mn$	303.184	134.125	248.297
Cek kapasitas lentur balok	$\emptyset Mn > Mu$ Oke !!!	$\emptyset Mn > Mu$ Oke !!!	$\emptyset Mn > Mu$ Oke !!!
Kesimpulan Menggunakan Tulangan	5D25	2D25	4D25

Tabel 2.11 Penulangan utama balok induk lantai 2 300 x 600 mm.

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
d Tul.Lentur (mm)	25	25	25
d Tul.Sengkang (mm) asumsi	10	10	10
BjTS (MPa)	420	420	420
Fc (MPa)	30	30	30
Selimit Beton (mm)	40	40	40
Mu MIDAS (Nmm)	618860000	384430000	64840000
ϕ	0.9	0.9	0.9
Mn (Mu/ ϕ) (Nmm)	687622222.2	427144444.4	72044444.44
d (mm)	540	540	540
Nilai a	205.59	115.82	17.73
β_1	0.84	0.84	0.84
Nilai c	246.01	138.59	21.22
ϵ_s penampang terkendali tarik	0.0036	0.0087	0.0734
tulangan leleh ($f_s=f_y$)	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$
As req	3744.69	2109.59	322.96
n	7.63	4.30	0.66
n lapangan	9	5	2
As use	4417.86	2454.37	981.75
As min 1	528.16	528.16	528.16
As min 2	540	540	540
As max	3481.35	3481.35	3481.35
	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!
Cek spasi tulangan s1 (mm)	15.67	29	74
s minimum (mm)	25	25	25
s maximum 1 (mm)	280	280	280
s maximum 2 (mm)	300	300	300
	0.03585	0.08689	0.73355

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
cek tulangan apakah sudah leleh ϵ_s	$\phi = 0,9$ (oke !!!)	$\phi = 0,9$ (oke !!!)	$\phi = 0,9$ (oke !!!)
Mn (Nmm)	811234477.6	496955031.5	219004820.6
ϕM_n	730.111	447.260	197.104
Cek kapasitas lentur balok	$\phi M_n > M_u$ Oke !!!	$\phi M_n > M_u$ Oke !!!	$\phi M_n > M_u$ Oke !!!
Kesimpulan Menggunakan Tulangan	9D25	5D25	2D25

Tabel 2.12 Penulangan utama balok induk lantai 2 250 x 450 mm.

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
d Tul.Lentur (mm)	25	25	25
d Tul.Sengkang (mm) asumsi	10	10	10
BjTS (MPa)	420	420	420
Fc (MPa)	30	30	30
Selimut Beton (mm)	40	40	40
Mu MIDAS (Nmm)	234400000	117200000	210320000
ϕ	0.9	0.9	0.9
Mn (Mu/ ϕ) (Nmm)	260444444.4	130222222.2	233688888.9
d (mm)	390	390	390
Nilai a	124.69	56.46	109.31
β_1	0.84	0.84	0.84
Nilai c	149.20	67.56	130.80
ϵ_s penampang terkendali tarik tulangan leleh ($f_s=f_y$)	0.0048	0.0143	0.0059
	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$
As req	1892.54	857.05	1659.20
n	3.86	1.75	3.38
n lapangan	5	3	4
As use	2454.37	1472.62	1963.50
	317.87	317.87	317.87

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
As min 1 As min 2	325	325	325
As max	2095.26	2095.26	2095.26
	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!
Cek spasi tulangan s1 (mm)	19	32.33	24
s minimum (mm)	25	25	25
s maximum 1 (mm)	280	280	280
s maximum 2 (mm)	300	300	300
cek tulangan apakah sudah leleh ϵ_s	0.04842 $\emptyset = 0,9$ (oke !!!)	0.14317 $\emptyset = 0,9$ (oke !!!)	0.05945 $\emptyset = 0,9$ (oke !!!)
Mn (Nmm)	337760741.3	223753753	276547552.5
$\emptyset Mn$	303.985	201.378	248.893
Cek kapasitas lentur balok	$\emptyset Mn > Mu$ Oke !!!	$\emptyset Mn > Mu$ Oke !!!	$\emptyset Mn > Mu$ Oke !!!
Kesimpulan Menggunakan Tulangan	5D25	3D25	4D25

Tabel 2.13 Penulangan balok utama induk lantai 3 300 x 600 mm.

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
d Tul.Lentur (mm)	25	25	25
d Tul.Sengkang (mm) asumsi	10	10	10
BjTS (MPa)	420	420	420
Fc (MPa)	30	30	30
Selimut Beton (mm)	40	40	40
Mu MIDAS (Nmm)	612370000	306185000	79620000
\emptyset	0.9	0.9	0.9
Mn (Mu/ \emptyset) (Nmm)	680411111.1	340205555.6	88466666.67
d (mm)	540	540	540
Nilai a	202.78	89.83	21.86

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
$\beta 1$	0.84	0.84	0.84
Nilai c	242.65	107.48	26.15
ϵ_s penampang terkendali tarik tulangan leleh ($f_s=f_y$)	0.0037	0.0121	0.0589
	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$
As req	3693.56	1636.10	398.12
n	7.52	3.33	0.81
n lapangan	9	5	2
As use	4417.86	2454.37	981.75
As min 1	528.16	528.16	528.16
As min 2	540	540	540
As max	3481.35	3481.35	3481.35
	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!
Cek spasi tulangan s1 (mm)	15.67	29	74
s minimum (mm)	25	25	25
s maximum 1 (mm)	280	280	280
s maximum 2 (mm)	300	300	300
cek tulangan apakah sudah leleh ϵ_s	0.03676	0.12072	0.58940
	$\phi = 0,9$ (oke !!!)	$\phi = 0,9$ (oke !!!)	$\phi = 0,9$ (oke !!!)
Mn (Nmm)	813838683.9	510353476	218154045.8
ϕM_n	732.455	459.318	196.339
Cek kapasitas lentur balok	$\phi M_n > M_u$ Oke !!!	$\phi M_n > M_u$ Oke !!!	$\phi M_n > M_u$ Oke !!!
Kesimpulan Menggunakan Tulangan	9D25	5D25	2D25

Tabel 2.14 Penulangan utama balok induk lantai 3 250 x 450 mm.

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
d Tul.Lentur (mm)	25	25	25

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
d Tul.Senggang (mm) asumsi	10	10	10
BjTS (MPa)	420	420	420
Fc (MPa)	30	30	30
Selimit Beton (mm)	40	40	40
Mu MIDAS (Nmm)	232020000	116010000	207810000
\emptyset	0.9	0.9	0.9
Mn (Mu/ \emptyset) (Nmm)	257800000	128900000	230900000
d (mm)	390	390	390
Nilai a	123.13	55.84	107.76
$\beta 1$	0.84	0.84	0.84
Nilai c	147.33	66.82	128.94
ϵ_s penampang terkendali tarik	0.0049	0.0145	0.0061
tulangan leleh ($f_s=f_y$)	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$
As req	1868.88	847.62	1635.61
n	3.81	1.73	3.33
n lapangan	5	2	4
As use	2454.37	981.75	1963.50
As min 1	317.87	317.87	317.87
As min 2	325	325	325
As max	2095.26	2095.26	2095.26
	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!
Cek spasi tulangan s1 (mm)	19	49	24
s minimum (mm)	25	25	25
s maximum 1 (mm)	280	280	280
s maximum 2 (mm)	300	300	300
cek tulangan apakah sudah leleh ϵ_s	0.04941	0.14509	0.06074
	$\emptyset = 0,9$ (oke !!!)	$\emptyset = 0,9$ (oke !!!)	$\emptyset = 0,9$ (oke !!!)
Mn (Nmm)	338564226.6	149297253.3	277188430.6
$\emptyset Mn$	304.708	134.368	249.470

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
Cek kapasitas lentur balok	$\phi M_n > M_u$ Oke !!!	$\phi M_n > M_u$ Oke !!!	$\phi M_n > M_u$ Oke !!!
Kesimpulan Menggunakan Tulangan	5D25	2D25	4D25

Tabel 2.15 Penulangan utama balok induk atap 300 x 600 mm.

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
d Tul.Lentur (mm)	25	25	25
d Tul.Senggang (mm) asumsi	10	10	10
BjTS (MPa)	420	420	420
Fc (MPa)	30	30	30
Selimit Beton (mm)	40	40	40
Mu MIDAS (Nmm)	586180000	293090000	18040000
ϕ	0.9	0.9	0.9
Mn (Mu/ ϕ) (Nmm)	651311111.1	325655555.6	20044444.44
d (mm)	540	540	540
Nilai a	191.69	85.62	4.87
β_1	0.84	0.84	0.84
Nilai c	229.37	102.45	5.83
ϵ_s penampang terkendali tarik tulangan leleh (fs=fy)	0.0041	0.0128	0.2748
	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$
As req	3491.43	1559.50	88.78
n	7.11	3.18	0.18
n lapangan	8	4	2

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
As use	3926.99	1963.50	981.75
As min 1	528.16	528.16	528.16
As min 2	540	540	540
As max	3481.35	3481.35	3481.35
	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!
Cek spasi tulangan s1 (mm)	17.75	36.5	74
s minimum (mm)	25	25	25
s maximum 1 (mm)	280	280	280
s maximum 2 (mm)	300	300	300
cek tulangan apakah sudah leleh ϵ_s	0.04063 $\emptyset = 0,9$ (oke !!!)	0.12812 $\emptyset = 0,9$ (oke !!!)	2.74760 $\emptyset = 0,9$ (oke !!!)
Mn (Nmm)	732564125.5	410016767.6	221655480.1
$\emptyset Mn$	659.308	369.015	199.490
Cek kapasitas lentur balok	$\emptyset Mn > Mu$ Oke !!!	$\emptyset Mn > Mu$ Oke !!!	$\emptyset Mn > Mu$ Oke !!!
Kesimpulan Menggunakan Tulangan	8D25	4D25	2D25

Tabel 2.16 Penulangan utama balok induk atap 250 x 450 mm.

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
d Tul.Lentur (mm)	25	25	25
d Tul.Sengkang (mm) asumsi	10	10	10

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
BjTS (MPa)	420	420	420
Fc (MPa)	30	30	30
Selimit Beton (mm)	40	40	40
Mu MIDAS (Nmm)	224100000	112050000	202650000
\emptyset	0.9	0.9	0.9
Mn (Mu/ \emptyset) (Nmm)	249000000	124500000	225166666.7
d (mm)	390	390	390
Nilai a	118.00	53.78	104.59
β_1	0.84	0.84	0.84
Nilai c	141.20	64.36	125.15
ϵ_s penampang terkendali tarik	0.0053	0.0152	0.0063
tulangan leleh ($f_s=f_y$)	$\geq 0,004$	$\geq 0,004$	$\geq 0,027$
As req	1791.12	816.36	1587.51
n	3.65	1.66	3.23
n lapangan	5	2	4
As use	2454.37	981.75	1963.50
As min 1	317.87	317.87	317.87
As min 2	325	325	325
As max	2095.26	2095.26	2095.26
	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!	As min < As use < As max Oke !!!
Cek spasi tulangan s1 (mm)	19	49	24

	TUMPUAN -	LAPANGAN	TUMPUAN+
s minimum (mm)	25	25	25
s maximum 1 (mm)	280	280	280
s maximum 2 (mm)	300	300	300
cek tulangan apakah sudah leleh ϵ_s	0.05286	0.15180	0.06349
	$\phi = 0,9$ (oke !!!)	$\phi = 0,9$ (oke !!!)	$\phi = 0,9$ (oke !!!)
Mn (Nmm)	341204854.1	149721780.3	278494971
ϕM_n	307.084	134.750	250.645
Cek kapasitas lentur balok	$\phi M_n > M_u$ Oke !!!	$\phi M_n > M_u$ Oke !!!	$\phi M_n > M_u$ Oke !!!
Kesimpulan Menggunakan Tulangan	5D25	2D25	4D25

2.8.2 Penulangan Sengkang Balok Induk

Setelah melakukan analisis gaya dalam pada balok dan telah melakukan perhitungan pada tulangan utama pada balok, selanjutnya dilakukan pengecekan terhadap gaya geser dan diperhitungkan apakah balok membutuhkan tulangan geser atau tidak untuk menahan gaya geser yang terjadi balok, berikut merupakan salah satu contoh perhitungan penulangan geser pada balok induk.

Data perancangan penulangan geser balok induk (600x300) mm

- Panjang balok (L) = 8000 mm
- Lebar balok (b) = 300 mm
- Tinggi balok (h) = 600 mm
- Panjang tumpuan = 1200 mm
- Diameter tulangan utama = 24 mm
- Diameter tulangan sengkang = 10 mm
- Selimut beton = 40 mm
- Tinggi efektif balok =

- Kuat tekan beton ($f'c$) = 30 MPa
- Kuat leleh tul. Utama (BjTS) = 420 MPa
- Kuat leleh tul. Sengkang (BjTP) = 4380 MPa
- β_1 = 0,8357
- Panjang kolom (c1) = 700 mm
- Lebar kolom (c2) = 700 mm
- V_u tumpuan = 396,31 kNm
- V_u lapangan = 397,36 kNm
- V_g tumpuan = 313,97 kNm
- A_s (+) tumpuan = 981.747 kNm
- A_s (-) tumpuan = 3436.116 kNm

Tabel 2.17 Penulangan sengkang balok induk lantai 1.

		Balok 300x600 mm Lantai 1	Balok 250x450 mm Lantai 1
DATA	Panjang Balok, L	8000	7000
	Lebar Balok, b	300	250
	Tinggi Balok, h	600	450
	Panjang Tumpuan	1200	900
	Diameter Tulangan Longitudinal, d_b	25	25
	Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt}		
	Diameter Tulangan Sengkang, d_s	10	10
	Selimut Bersih, cc	40	40
	Tinggi Efektif Balok, d	537.5	387.5
	Kuat Tekan Beton, f_c'	30	30
	Kuat Leleh Tul. Longitudinal, BjTS	420	420
	Kuat Leleh Tul. Transversal, BjTP	280	280
	β_1	0.835	0.835
	Panjang Kolom, c1	700	700

		Balok 300x600 mm Lantai 1	Balok 250x450 mm Lantai 1
	Lebar Kolom, c2	700	700
	Ln	7300	6300
Gaya Dalam	Vu,tumpuan	396.31	74.93
	Vu,lapangan	397.38	68.67
Gaya Desain	Vg,tumpuan	313.97	60.26
	As+ Tumpuan	981.74	1963.49
	As- Tumpuan	3436.11	2454.36
	apr+	26.18	138.64
	apr-	230.24	158.01
	Mpr+	180192066.1	218657954.1
	Mpr-	507969882.7	265004094
	Vsway atau Vpr	94268.76	76771.75
Ve	94582.73	76832.01	
Tahanan Geser Beton	1/2 Ve	47291.36	38416.006
	Pu	0	0
	Ag fc' / 20	270000	168750
	Vc Diperhitungkan?	Vc = 0 jika Vpr >= 1/2 Ve dan Pu < Ag fc' / 20	Vc = 0 jika Vpr >= 1/2 Ve dan Pu < Ag fc' / 21
	Vc	0	0
Penulangan Geser Tumpuan	Jumlah Kaki	4	2
	Av	314.15	157.07
	Spasi	100	100
	Spasi Max 1	134.37	96.87
	Spasi Max 2	150	150
	Spasi Max 3	150	150
	Cek Spasi	OK	OK
	Vs	472809.69	170431.401
	Batas Vs	582913.73	350200.11
	φ	0.75	0.75
	Vn	472809.69	170431.401
	Vu	396310	74930

		Balok 300x600 mm Lantai 1	Balok 250x450 mm Lantai 1
	$\phi V_n / V_u$	0.894	1.705
	Cek Kapasitas	$\phi V_n / V_u \geq 1$ ok	$\phi V_n / V_u \geq 1$ ok
Penulangan Geser Lapangan	Jumlah Kaki	3	2
	A_v	235.61	157.07
	Spasi	120	150
	Spasi Max	268.75	193.75
	Cek Spasi	OK	OK
	V_s	295506.05	113620.93
	Batas V_s	582913.73	350200.11
	V_c	150144.44	90203.05
	ϕ	0.75	0.75
	V_n	445650.505	203823.99
	V_u	397380	68670
	$\phi V_n / V_u$	0.841	2.226
	Cek Kapasitas	OK	OK
Kesimpulan Menggunakan Tulangan	TUMPUAN	D10 - 100	D10 - 100
	LAPANGAN	D10 - 120	D10 - 150

Tabel 2.18 Penulangan sengkang balok induk lantai 2.

		Balok 300x600 mm lantai 2	Balok 250x450 mm lantai 2
DATA	Panjang Balok, L	8000	7000
	Lebar Balok, b	300	250
	Tinggi Balok, h	600	450
	Panjang Tumpuan	1200	900
	Diameter Tulangan Longitudinal, db	25	25
	Diameter Tulangan Pinggang, dbt		
	Diameter Tulangan Sengkang, ds	10	10
	Selimit Bersih, cc	40	40

		Balok 300x600 mm	Balok 250x450 mm
		lantai 2	lantai 2
	Tinggi Efektif Balok, d	537.5	387.5
	Kuat Tekan Beton, f_c'	30	30
	Kuat Leleh Tul. Longitudinal, $B_j T_S$	420	420
	Kuat Leleh Tul. Transversal, $B_j T_S$	280	280
	β_1	0.8357	0.8357
	Panjang Kolom, c1	700	700
	Lebar Kolom, c2	700	700
	Ln	7300	6300
Gaya Dalam	Vu,tumpuan	507.16	92.11
	Vu,lapangan	508.23	90.79
Gaya Desain	Vg,tumpuan	404.43	59.62
	As+ Tumpuan	981.75	1963.50
	As- Tumpuan	4417.86	2454.37
	apr+	22.16	136.64
	apr-	256.99	155.86
	Mpr+	180883413.2	219348027.9
	Mpr-	632426176.9	265931181.4
	Vsway atau Vpr	111412.27	77028.45
	Ve	111816.70	77088.07
Tahanan Geser Beton	$1/2 V_e$	55908.35	38544.03
	Pu	0	0
	$A_g f_c' / 20$	270000	168750
	Vc Diperhitungkan?	Vc = 0 jika $V_{pr} \geq 1/2 V_e$ dan $P_u < A_g f_c' / 22$	Vc = 0 jika $V_{pr} \geq 1/2 V_e$ dan $P_u < A_g f_c' / 23$
	Vc	0	0
Penulangan Geser Tumpuan	Jumlah Kaki	4	2
	A_v	314.16	157.08
	Spasi	100	100
	Spasi Max 1	134.38	96.88

		Balok 300x600 mm	Balok 250x450 mm
		lantai 2	lantai 2
	Spasi Max 2	150	150
	Spasi Max 3	150	150
	Cek Spasi	OK	OK
	Vs	472809.69	170431.40
	Batas Vs	582913.73	350200.11
	ϕ	0.75	0.75
	Vn	472809.69	170431.40
	Vu	507160	92110
	$\phi Vn / Vu$	0.6992019693	1.387727186
	Cek Kapasitas	$\phi Vn / Vu \geq 1$ ok	$\phi Vn / Vu \geq 1$ ok
Penulangan Geser Lapangan	Jumlah Kaki	4	2
	Av	314.16	157.08
	Spasi	120	150
	Spasi Max	268.75	193.75
	Cek Spasi	OK	OK
	Vs	394008.08	113620.93
	Batas Vs	582913.73	350200.11
	Vc	150144.45	90203.06
	ϕ	0.75	0.75
	Vn	544152.52	203823.99
	Vu	508230	90790
	$\phi Vn / Vu$	0.803	1.684
	Cek Kapasitas	OK	OK
Kesimpulan Menggunakan Tulangan	TUMPUAN	D10 - 100	D10 - 100
	LAPANGAN	D10 - 120	D10 - 150

Tabel 2.19 Penulangan sengkang balok induk lantai 3.

		Balok 300x600 mm	Balok 250x450 mm
		lantai 3	lantai 3
DATA	Panjang Balok, L	8000	7000
	Lebar Balok, b	300	250

		Balok 300x600 mm lantai 3	Balok 250x450 mm lantai 3
	Tinggi Balok, h	600	450
	Panjang Tumpuan	1200	900
	Diameter Tulangan Longitudinal, db	25	25
	Diameter Tulangan Pinggang, dbt		
	Diameter Tulangan Sengkang, ds	10	10
	Selimit Bersih, cc	40	40
	Tinggi Efektif Balok, d	537.5	387.5
	Kuat Tekan Beton, f_c'	30	30
	Kuat Leleh Tul. Longitudinal, B_jTS	420	420
	Kuat Leleh Tul. Transversal, B_jTP	280	280
	β_1	0.8357	0.8357
	Panjang Kolom, c1	700	700
	Lebar Kolom, c2	700	700
	L_n	7300	6300
	Gaya Dalam	V_u ,tumpuan	368.15
V_u ,lapangan		365.46	87.46
Gaya Desain	V_g ,tumpuan	295.07	59.02
	As+ Tumpuan	981.75	1963.50
	As- Tumpuan	4417.86	2454.37
	apr+	27.32	134.70
	apr-	253.48	153.91
	Mpr+	179997189.4	220015609.2
	Mpr-	635138891.8	266768145.3
	Vsway atau Vpr	111662.48	77267.26
	V_e	111957.55	77326.28
Tahanan Geser Beton	$1/2 V_e$	55978.77	38663.14
	P_u	0	0

		Balok 300x600 mm lantai 3	Balok 250x450 mm lantai 3
	$A_g f_c' / 20$	270000	168750
	Vc Diperhitungkan?	$V_c = 0$ jika $V_{pr} \geq 1/2 V_e$ dan $P_u < A_g f_c' / 24$	$V_c = 0$ jika $V_{pr} \geq 1/2 V_e$ dan $P_u < A_g f_c' / 25$
	V_c	0	0
Penulangan Geser Tumpuan	Jumlah Kaki	4	2
	A_v	314.16	157.08
	Spasi	100	100
	Spasi Max 1	134.38	96.88
	Spasi Max 2	150	150
	Spasi Max 3	150	150
	Cek Spasi	OK	OK
	V_s	472809.69	170431.40
	Batas V_s	582913.73	350200.11
	ϕ	0.75	0.75
	V_n	472809.69	170431.40
	V_u	368150	88780
	$\phi V_n / V_u$	0.9632140996	1.439778679
	Cek Kapasitas	$\phi V_n / V_u \geq 1$ ok	$\phi V_n / V_u \geq 1$ ok
Penulangan Geser Lapangan	Jumlah Kaki	3	2
	A_v	235.62	157.08
	Spasi	120	150
	Spasi Max	268.75	193.75
	Cek Spasi	OK	OK
	V_s	295506.06	113620.93
	Batas V_s	582913.73	350200.11
	V_c	150144.45	90203.06
	ϕ	0.75	0.75
	V_n	445650.51	203823.99
	V_u	365460	87460
	$\phi V_n / V_u$	0.915	1.748
	Cek Kapasitas	OK	OK

		Balok 300x600 mm lantai 3	Balok 250x450 mm lantai 3
Kesimpulan Menggunakan Tulangan	TUMPUAN	D10 - 100	D10 - 100
	LAPANGAN	D10 - 120	D10 - 150

Tabel 2.20 Penulangan sengkang balok induk lantai atap.

		Balok 300x600 mm atap	Balok 250x450 mm atap
DATA	Panjang Balok, L	8000	7000
	Lebar Balok, b	300	250
	Tinggi Balok, h	600	450
	Panjang Tumpuan	1200	900
	Diameter Tulangan Longitudinal, db	25	25
	Diameter Tulangan Pinggang, dbt		
	Diameter Tulangan Sengkang, ds	10	10
	Selimut Bersih, cc	40	40
	Tinggi Efektif Balok, d	537.5	387.5
	Kuat Tekan Beton, f_c'	30	30
	Kuat Leleh Tul. Longitudinal, B_jTS	420	420
	Kuat Leleh Tul. Transversal, B_jTP	280	280
	β_1	0.8357	0.8357
	Panjang Kolom, c1	700	700
	Lebar Kolom, c2	700	700
	L_n	7300	6300
Gaya Dalam	V_u ,tumpuan	233.4	71.38
	V_u ,lapangan	237.22	69.46
Gaya Desain	V_g ,tumpuan	195.96	57.42
	A_s+ Tumpuan	981.75	1963.50

		Balok 300x600 mm atap	Balok 250x450 mm atap
	As- Tumpuan	3926.99	2454.37
	apr+	6.09	130.74
	apr-	239.61	147.50
	Mpr+	183644516.9	221376588.9
	Mpr-	574101197.7	269518798.9
	Vsway atau Vpr	103800.78	77919.90
	Ve	103996.74	77977.32
Tahanan Geser Beton	1/2 Ve	51998.37	38988.66
	Pu	0	0
	Ag fc' / 20	270000	168750
	Vc Diperhitungkan?	Vc = 0 jika Vpr >= 1/2 Ve dan Pu < Ag fc' / 26	Vc = 0 jika Vpr >= 1/2 Ve dan Pu < Ag fc' / 27
	Vc	0	0
Penulangan Geser Tumpuan	Jumlah Kaki	2	2
	Av	157.08	157.08
	Spasi	100	100
	Spasi Max 1	134.38	96.88
	Spasi Max 2	150	150
	Spasi Max 3	150	150
	Cek Spasi	OK	OK
	Vs	236404.85	170431.40
	Batas Vs	582913.73	350200.11
	φ	0.75	0.75
	Vn	236404.85	170431.40
	Vu	233400	71380
	φVn / Vu	0.7596556786	1.790747424
	Cek Kapasitas	φVn / Vu >= 1 ok	φVn / Vu >= 1 ok
Penulangan Geser Lapangan	Jumlah Kaki	2	2
	Av	157.08	157.08
	Spasi	150	150
	Spasi Max	268.75	193.75

		Balok 300x600 mm atap	Balok 250x450 mm atap
	Cek Spasi	OK	OK
	Vs	157603.23	113620.93
	Batas Vs	582913.73	350200.11
	Vc	150144.45	90203.06
	ϕ	0.75	0.75
	Vn	307747.68	203823.99
	Vu	237220	69460
	$\phi Vn / Vu$	0.973	2.201
	Cek Kapasitas	OK	OK
Kesimpulan Menggunakan Tulangan	TUMPUAN	D10 - 100	D10 - 100
	LAPANGAN	D10 - 150	D10 - 150

2.9 Perancangan Kolom

Perancangan kolom dilakukan dengan memperhatikan syarat-syarat yang berlaku. Syarat dimensi penampang digunakan dengan memperhatikan dimensi penampang terkecil dikuru pada garis lurus yang melalui pusat geometri dan tidak kurang dari 300 mm. Rasio dimensi penampang yang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

Pada perancangan kolom harus memperhatikan kekuatan lentur kolom yang harus memenuhi $\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$ dimana ΣM_{nc} merupakan jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. ΣM_{nb} yang merupakan jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Perhitungan tersebut harus mendapatkan hasil dimana *strong colum – weak beam* perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

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

Untuk menghitung tulangan harus memperhatikan beberapa syarat. Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak melebihi $0,006A_g$. Padasambungan lewatan hanya diizinkan dalam daerah tengah tinggi

kolom yang ada, hal tersebut juga harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal.

Pada syarat tulangan transversal daerah sendi plastis kolom (daerah sepanjang 10 dari muka hubungan balok-kolom, dikedua ujungnya) harus disediakan tulangan transversal yang mencakupi.

Tulangan transversal harus sesuai dengan poin-poin seperti :

- a. Tulangan transversal harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpang atau yang biasa disebut dengan overlap, dimana Sengkang pengekang bunda atau pengekang persegi dengan atau tanpa ikat silang.
- b. Setiap tekukan ujung Sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.
- c. Penggunaan sengkang pengekang persegi ataupun ikat silang tulangan transversal harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal harus sesuai.
- d. Tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi h_x antara tulangan-tulangan longitudinal disepanjang parameter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki Sengkang pengekang tidak boleh melebihi 350 mm.
- e. Nilai h_x tidak boleh melebihi 200 mm hal ini dikarenakan ketika $P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70$ Mpa pada kolom dengan Sengkang pengekang di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudur dari Sengkang pengekang ataupun kait gempap.

Syarat tulangan transversal pada daerah lo diberikan Sengkang dengan spasi s yang tidak melebihi $6d_b$ dan 150 mm. Syarat kuat geser kolom SRPMK harus memiliki gaya geser rencana (V_e) yang ditentukan dengan memperhitungkan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok-kolom pada setiap komponen struktur. Gaya pada hubungan balok-kolom harus ditentukan dengan menggunakan kuat momen maksimum yang dapat terjadi (probable moment) pada setiap ujung batang yang sesuai dengan rentang beban aksial terfaktor P_u yang bekerja pada batang tersebut. Gaya geser rencana (V_e) tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor yang didapat dari hasil analisis struktur. Kemudian tulangan

transversal sepanjang l_0 harus didesain sedemikian rupa untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ hal ini dapat terjadi jika gaya geser akibat gempa setidaknya 50% dari kekuatan geser perlu maksimum disepanjang l_0 dan gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c/20$. Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan balok yaitu balok pada lantai 1.

Diketahui kolom 700x700 dengan tinggi 4,3 meter diperoleh hasil gaya dalam melalui *software* midas

- P_u maksimum = 91,86
- M_x = 0,82
- M_y = -1,38
- P_u minimum = -1457,66
- M_x = 43,3
- M_y = 4,24
- Tinggi balok = 4500 mm
- F'_c = 30 Mpa
- B_{jTS} tulangan utama = 420 Mpa
- B_{jTP} tulangan sengkang = 280 Mpa
- Diameter tulangan utama = 22 mm
- Diameter tulangan sengkang = 13 mm

Diketahui *output* ϕM_n kolom akibat P_u Max dan P_u min dari *software* *SP Column* dapat dilihat pada Gambar 2.12.

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities										
lo	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	$\phi M_n/M_u$	IA Depth	dt Depth	zt	ϕ
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
1	-91.00	1.00	-3.00	636.12	-1908.35	636.118	330	805	0.00433	0.842
2	1457.00	4.00	43.00	205.88	2213.23	51.470	301	695	0.00398	0.812
3	150.00	-270.00	-175.00	-1540.38	-998.39	5.705	385	870	0.00377	0.794
4	120.00	201.00	8.00	2310.70	91.97	11.496	226	655	0.00577	0.900
5	206.00	-86.00	220.00	-711.28	1819.54	8.271	352	822	0.00401	0.815
6	240.00	50.00	-165.00	587.81	-1939.79	11.756	333	794	0.00418	0.830

	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	ϕ	M_{nx}	M_{ny}
P_u Max	587,81	-1939,79	0,9	708,2048193	2155,322222
P_u Min	636,12	-1908,35	0,9	755,4869359	2120,388889

Gambar 2.12 Output momen nominal kolom dari *software* midas gen.

- Mnc a = 266,51 kNm
 - Mnc b = 118,41 kNm
- MPR Balok lantai 1
- Mprb, ki (-) = 63,39 kNm
 - Mprb, ki (+) = 11,46 kNm

$$(Mnc a + Mnc b) \geq 1,2(Mprb ki + Mprb ka)$$

$$(266,51 + 118,41) \geq 1,2 (63,39 + 11,46)$$

Karena $Mnc > 1,2 Mprb$ maka kolom telah memenuhi syarat (*Strong Column Weak Beam*)

Tulangan transversal didasarkan pada kuat geser kolom pengekang inti beton seperti berikut

- a. Dari analisis struktur $V_u = 201,940$
- b. Berdasarkan Mpr balok kiri dan kanan kolom
 - Mprb, ki (-) = 63,39 kNm
 - Mprb, ki (+) = 11,46 kNm
 - Mprk dari balok = $0,5 \times (63,39 + 11,46)$
= 37,425 kNm

Kemudian dilanjutkan dengan menghitung kuat geser perlu dengan persamaan sebagai berikut

$$V_e = \frac{63,39+11,46}{(5-0,6)} = 17,011 \text{ kNm}$$

$$V_e = 17,010 \text{ kNm} < V_u = 201,940 \text{ kNm}$$

Maka digunakan nilai $V_u = V_e = 201,940 \text{ kNm}$

Kemudian dilanjutkan dengan menghitung d , dengan persamaan berikut

- Diameter sengkang = 13 mm
- Selimut beton = 40 mm

$$D = 700 - 40 - 13/2 = 634 \text{ mm}$$

Kuat geser beton diabaikan, $V_c = 0$ (karena $V_c > V_u$)

$$\begin{aligned}
 - V_s &= \frac{V_u}{\phi} = 0 \\
 - V_s &= \frac{V_u 201,940 \times 1000}{\phi 0,75} - 0 = 269253 \text{ N} \\
 - \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{ytd}} = \frac{269352}{280 \times 403,5} = 2,383 \text{ Nmm} \dots\dots\dots(A)
 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk tulangan pengeang dengan cara berikut

Untuk $P_u < 0,3 f'c A_g$

$$91860 \text{ N} < 0,3 \times 30 \times 700 \times 700$$

$$91860 \text{ N} < 4410000 \text{ N}$$

Karena $f'c = 30 \text{ Mpa} < 70 \text{ Mpa}$, maka digunakan persamaan berikut :

$$\frac{A_{sh}}{S_{bc}} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'c}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh}}{S_{bc}} = 0,09 \left(\frac{f'c}{f_{yt}} \right)$$

$$B_c = \text{lebar kolom} - \text{selimut beton} = 700 - 2 \times 40 = 620 \text{ mm}$$

$$A_g = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = (700 - 2 \times 40) \times (700 - 2 \times 40) = 384400 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{S_{bc}} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'c}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh}}{S_{bc}} = 0,3 \left(\frac{300000}{384400} - 1 \right) \frac{30}{280} = 0,00705 \dots\dots\dots(B)$$

$$\frac{A_{sh}}{S_{bc}} = 0,9 \frac{f'c}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh}}{S_{bc}} = 0,9 \frac{30}{280} = 0,0096428$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,0096428 \times 420 = 4,0499976 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots(C)$$

Berdasarkan SNI 2847; 2019 dalam table 18.7.5.4-Tulangan transversal untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus dari persamaan A,B,C diatas dipilih yang terbesar. Dalam hal ini adalah persamaan C yaitu $4,049976 \text{ mm}^2$.

Perhitungan tulangan transversal di daerah sepanjang l0 dengan cara :

Misal diambil $S = 100 \text{ mm}$

$$A_{sh} = 4,049976 \times 100 = 404,9976$$

Digunakan diameter 36 mm, luas 4 kaki

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

Jumlah kaki tulangan transversal = $404,9976/132,73 = 3,5363$ berarti digunakan $n = 4$

Tulangan tranversal D13 – 100

Menghitung spasi, dengan mempertimbangkan spasi maksimum sebagai berikut

- $\frac{1}{4}$ dimensi kolom terkceil = $\frac{1}{4} \times 700 = 175 \text{ mm}$
- 6 kali diameter tulangan longitudinal = $6 \times 32 = 192 \text{ mm}$
- $H_x = 300 \text{ mm}$
- $S_o = 100 + \left(\frac{350 - H_x}{3} \right) = 116,67 \text{ mm}$

Nilai S_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm.

Jarak tulangan transversal diluar dengan l0 dengan cara

$$V_e = 17,011 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17 \sqrt{30bwd} = 0,17 \times \sqrt{30 \times 700 \times 634} = 413,234 \text{ kN}$$

Karena $V_c > V_e$ maka memenuhi syarat, maka digunakan D13 – 100

Rekapitulasi penulangan kolom dapat dilihat pada Tabel 2.21.

Tabel 2.21 Rekapitulasi penulangan kolom

NAMA	UKURAN (mm)	ULIR TUMPUAN	ULIR LAPANGAN	SENGKANG TUMPUAN	SENGKANG LAPANGAN
Kolom Basement	700 x 700	16D25	16D25	D13 - 100	D13 - 150
Kolom Lantai 1	700 x 700	16D25	16D25	D13 - 100	D13 - 150
Kolom Lantai 2	600 x 600	16D25	16D25	D13 - 100	D13 - 150
Kolom Lantai 3	600 x 600	16D25	16D25	D13 - 100	D13 - 150

2.10 Perancangan Struktur Pelat lantai

Struktur pelat lantai merupakan bagian penting dalam desain dan konstruksi bangunan. Struktur pelat lantai bertujuan untuk menopang beban-beban yang bekerja di atasnya, seperti beban hidup (orang, perabotan) dan beban mati (struktur bangunan sendiri).

Perhitungan desain pelat lantai Gedung *Co-Working Space* di Bantul dengan menggunakan SNI 8900:2020.

C. Perhitungan pelat atap 1 arah

- Bentang panjang (l_y) = 7000 mm = 7 m
- Bentang Pendek (l_x) = 2700 mm = 2,7 m
- f'_c = 30 MPa
- B_jTS 420B = 420 MPa
- Selimut Beton (cc) = 20 mm
- Diameter tulangan lentur = 10 mm
- Tebal pelat = 120 mm
- As tulangan = $\frac{\pi}{4} \times d. \text{tulangan}^2$
= 78,54 mm²
- dx = $tp - cc - \frac{D_{10}}{2}$
= 95 mm

- $dy = tp - cc - D10 - \frac{D10}{2}$
 $= 120 - 20 - 10 - \frac{10}{2}$
 $= 85 \text{ mm}$
- $\beta = ly/lx$
 $= 7000 / 2700$
 $= 2590 \text{ mm} = 2,59 \text{ m}$
- Beban Hidup (LL) $= 4,79 \text{ kN/m}^2$
- Beban Mati (DL) $= 4,86 \text{ kN/m}^2$
- $Qu = 1,2DL + 1,6LL$
 $= 13,49 \text{ kN/m}^2$
- **Perhitungan momen**
- $Ln = lx - \frac{1}{2} \text{ lebar b.induk} - \frac{1}{2} \text{ lebar b.anak}$
 $= 2700 - 125 - 125$
 $= 2450 \text{ mm}$
- $Mu (-) = \frac{qu \times ln^2}{24}$
 $= \frac{13,49 \times 2450^2}{24}$
 $= 9001082,22 \text{ Nmm} = 90,01 \text{ kNm}$
- $Mu (+) = \frac{qu \times ln^2}{8}$
 $= \frac{13,49 \times 2450^2}{8}$
 $= 7364521,82 \text{ Nmm} = 73,65 \text{ kNm}$

Perhitungan diatas tadi merupakan perhitungan pada pelat di posisi F, akan tetapi pada pelat lantai masih terdapat pelat G dan H yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Perhitungan momen pelat satu arah.

Plat	Posisi	ln (mm)	Mu (-) Nmm	Mu (-) kNm	Mu (+)	Mu (+) kNm	Mu (-) (maks)	Mu (+) (maks)
A	Eksterior	2450	3375405,83	33,75	7364521,82	73,65	9001082,22	7364521,82

	Interior	2450	9001082,22	90,01	5063108,75	50,63	9001082,22	7364521,82
B	Eksterior	2250	2846812,50	28,47	6211227,27	62,11	7591500,00	6211227,27
	Interior	2250	7591500,00	75,92	4270218,75	42,70	7591500,00	6211227,27
C	Eksterior	2250	2846812,50	28,47	6211227,27	62,11	7591500,00	6211227,27
	Interior	2250	7591500,00	75,92	4270218,75	42,70	7591500,00	6211227,27
D	Eksterior	2600	3801373,33	38,01	8293905,45	82,94	9123296,00	8293905,45
	Interior	2600	9123296,00	91,23	5702060,00	57,02	9123296,00	8293905,45

- **Menghitung kuat geser**

- $l_n = l_x - \frac{1}{2} \text{ lebar b.induk} - \frac{1}{2} \text{ lebar b.anak}$
 $= 2700 - 125 - 125$
 $= 2450 \text{ mm}$
- $V_u = 1,15 \times \frac{q_u \times l_n}{2}$
 $= 1,15 \times \frac{13,49 \times 2450^2}{2}$
 $= 19012,49 \text{ N} = 19,01 \text{ kN}$
- $\phi V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c \times b_w \times d}$
 $= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{30 \times 1000 \times 95}$
 $= 48,79$
- $k \text{ (tumpuan)} = \frac{Mu-}{0,9 \times b_w \times d^2}$
 $= \frac{90,01}{0,9 \times 1000 \times 95^2}$
 $= 1,11$
- $k \text{ (lapangan)} = \frac{Mu+}{0,9 \times b_w \times d^2}$
 $= \frac{73,65}{0,9 \times 1000 \times 95^2}$
 $= 0,91$

Perhitungan diatas tadi merupakan perhitungan pada pelat di posisi F, akan tetapi pada pelat lantai masih terdapat pelat G dan H yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perhitungan kuat geser pelat

Plat	Posisi	ln (mm)	Vu (N)	Vu (kN)	ϕV_c	Cek $\phi V_c \geq V_u$	k (tumpuan)	k (lapangan)
A	Eksterior	2450	19012,49	19,01	48,79	OK	1,11	0,91
	Interior	2450	19012,49	19,01	48,79	OK	1,11	0,62
B	Eksterior	2250	17460,45	17,46	48,79	OK	0,93	0,76
	Interior	2250	17460,45	17,46	48,79	OK	0,93	0,53
C	Eksterior	2650	20564,53	20,56	48,79	OK	0,93	0,76
	Interior	2650	20564,53	20,56	48,79	OK	0,93	0,53
D	Eksterior	2650	20564,53	20,56	48,79	OK	1,12	1,02
	Interior	2650	20564,53	20,56	48,79	OK	1,12	0,70

• Penulangan menggunakan tulangan lentur D10

- Rasio penulangan (ρ)

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

$$= \frac{0,85 \times 30}{30} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,11}{0,85 \times 30}}\right)$$

$$= 0,0027$$

- Rasio maks (ρ maks)

$$= 0,36 \times \left(\frac{0,85 \times f'c \times d}{f_y}\right)$$

$$= 0,36 \times \left(\frac{0,85 \times 30 \times 95}{420}\right)$$

$$= 0,02$$

$\rho < \rho$ maks ; $0,02 < 0,0325$ (OK)

- As req

$$= \rho \times b_w \times d$$

$$= 0,02 \times 1000 \times 95$$

$$= 256,35 \text{ mm}^2$$

- As min 1

$$= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 120000$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

- As use

$$= 256,35 \text{ mm}^2$$

- Spasi tul. Lentur (S.tul)

$$= \frac{\frac{\pi}{4} \times D10^2 \times b_w}{As \text{ use}}$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 1000$$

$$= 256,35$$

$$= 306,37 \text{ mm}$$

- Spasi maks (S.maks) = 3 x tebal pelat

$$= 3 \times 120$$

$$= 360 \text{ mm}$$

- Spasi pakai (S.use) = 300 mm

- Kebutuhan jumlah tul. (n) = $\frac{As \text{ use}}{0,25 \times \pi \times D10^2}$

$$= \frac{256,35}{0,25 \times \pi \times 10^2}$$

$$= 3,26$$

- Jumlah tul. Dipakai (n use) = 4

Digunakan tulangan lentur **D10 – 300**

Perhitungan diatas tadi merupakan perhitungan tulangan lentur pada pelat di posisi F, akan tetapi pada pelat lantai masih terdapat pelat G dan H yang dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Rekap penulangan pelat satu arah.

Plat	Posisi	Tulangan Lentur
A	Eksterior	D10-300
	Interior	D10-300
B	Eksterior	D10-300
	Interior	D10-300
C	Eksterior	D10-300
	Interior	D10-300
D	Eksterior	D10-300
	Interior	D10-300
F	Eksterior	D10-200
G	Eksterior	D10-200
H	Eksterior	D10-200
	Interior	D10-200

D. Perhitungan pelat atap 2 arah

- Bentang pendek (la) = 2700 mm

- Bentang panjang (lb) = 4950 mm

- $f'c$ = 30 MPa
- BjTS 420B = 420 MPa
- Selimut Beton (cc) = 20 mm
- Diameter tulangan lentur = 13 mm
- Tebal pelat = 120 mm
- As tulangan = $\frac{\pi}{4} \times d. \text{tulangan}^2$
 $= \frac{\pi}{4} \times 13^2$
 $= 132,73 \text{ mm}^2$
- dx = $tp - cc - \frac{D13}{2}$
 $= 120 - 20 - \frac{13}{2}$
 $= 93,5 \text{ mm}$
- dy = $tp - cc - D13 - \frac{D13}{2}$
 $= 120 - 20 - 13 - \frac{13}{2}$
 $= 80,5 \text{ mm}$
- β = lb / la
 $= 1,8$
- Beban Hidup (LL) = 4,79 kN/m²
- Beban Mati (DL) = 4,86 kN/m²
- Qu = 1,2 DL + 1,6 LL
 $= 1,2 (4,86) + 1,6 (4,79)$
 $= 13,496 \text{ kN/m}^2$

Perhitungan moment negatif, moment positif dan fraksi beban untuk penampang interior dengan β adalah 1,8 sebagai berikut

iii. Bentang pendek (la)

- Mu (-) = $\frac{qu \text{ la}^2}{12}$
 $= \frac{13,496 \times 2,7^2}{12}$
 $= 8,19 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Mu (+)} &= \frac{qu \cdot la^2}{20} \\
 &= \frac{13,496 \times 2,7^2}{20} \\
 &= 4,92 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$- \text{ Fraksi beban } (\alpha a) = 0,92 \quad (\text{SNI 8900 : 2020})$$

iv. Bentang panjang (lb)

$$\begin{aligned}
 - \text{ Mu (-)} &= \frac{qu \cdot lb^2}{135} \\
 &= \frac{13,496 \times 4,95^2}{135} \\
 &= 2,45 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Mu (+)} &= \frac{qu \cdot lb^2}{225} \\
 &= \frac{13,496 \times 4,95^2}{225} \\
 &= 1,47 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$- \text{ Fraksi beban } (\alpha b) = 0,08$$

Perhitungan gaya geser (Vu) untuk penampang interior dengan β adalah 1,8 sebagai berikut

iii. Bentang pendek (la)

$$\begin{aligned}
 - \text{ Vu 1} &= \frac{\alpha b \times qu \times lb}{2} \\
 &= \frac{0,4 \times 13,496 \times 4,95}{2} \\
 &= 2,67 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Vu 2} &= \frac{qu \times la}{4} \\
 &= \frac{13,496 \times 2,7}{4} \\
 &= 9,11 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

iv. Bentang panjang (lb)

$$\begin{aligned} - Vu 1 &= \frac{ab \times qu \times la}{2} \\ &= \frac{0,4 \times 13,496 \times 2,7}{2} \\ &= 16,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - Vu 2 &= qu \left(\frac{la}{2} - \frac{la^2}{4lb} \right) \\ &= 13,496 \left(\frac{2,7}{2} - \frac{2,7^2}{4 \times 4,95} \right) \\ &= 13,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$- Vu \text{ pendek dipakai} = Vu2 = 9,11 \text{ kN}$$

$$- Vu \text{ Panjang dipakai} = Vu1 = 16,76 \text{ kN}$$

Perhitungan moment negatif, moment positif dan fraksi beban untuk penampang tepi dengan La sejajar dengan tepi pelat dengan β adalah 1,8 sebagai berikut

iii. Bentang pendek (la)

$$\begin{aligned} - Mu (-) &= \frac{qu \ la^2}{12} \\ &= 55,109 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - Mu (+) &= \frac{qu \ la^2}{21} \\ &= 31,491 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$- \text{Fraksi beban } (\alpha a) = 0,93$$

iv. Bentang panjang (lb)

$$\begin{aligned} - Mu (-) &= \frac{qu \ la^2}{135} \\ &= 12,928 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - Mu (+) &= \frac{qu \ la^2}{160} \\ &= 10,928 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Fraksi beban (αb) = 0,07

Perhitungan gaya geser (V_u) untuk penampang tepi dengan L_a sejajar tepi pelat dengan β adalah 1,8 sebagai berikut

iii. Bentang pendek (l_a)

- $V_{u1} = \frac{\alpha b \times q_u \times l_b}{2}$

$$= 5,37 \text{ kN}$$

- $V_{u2} = \frac{q_u \times l_a}{4}$

$$= 23,62 \text{ kN}$$

iv. Bentang panjang (l_b)

- $V_{u1} = \frac{\alpha b \times q_u \times l_a}{2}$

$$= 43,93 \text{ kN}$$

- $V_{u2} = q_u \left(\frac{l_a}{2} - \frac{l_a^2}{4l_b} \right)$

$$= 32,69 \text{ kN}$$

- V_u pendek dipakai = $V_{u2} = 23,62 \text{ kN}$

- V_u Panjang dipakai = $V_{u1} = 43,93 \text{ kN}$

Perhitungan rasio bentang panjang Pelat A arah negatif dan positif untuk penampang interior

Arah Negatif

- $V_u = 16,76 \text{ kN}$

- $k = \frac{M_u (-) \times 10^6}{0,9 \times b \times d^2}$

$$= \frac{12,928 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 93,5^2}$$

$$= 0,31$$

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

$$= \frac{0,85 \times 30}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,31}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$= 0,0007$$

- ρ maks $= 0,36 \times \left(\frac{f'c \times \beta}{fy} \right)$
- $= 0,36 \times \left(\frac{30 \times 1,8}{420} \right)$
- $= 0,047$

Arah Positif

- $V_u = 16,76 \text{ kN}$
- $k = \frac{Mu (+) \times 10^6}{0,9 \times b \times dx^2}$
- $= 0,19$
- $\rho = \frac{0,85 f'c}{fy} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \times f'c}} \right)$
- $= 0,0004$
- ρ maks $= 0,36 \times \left(\frac{0,85 \times f'c \times d}{fy} \right)$
- $= 0,047$

Perhitungan Rasio bentang panjang Pelat A arah negatif dan positif untuk penampang tepi dengan L_a sejajar dengan tepi pelat.

Arah Negatif

- $V_u = 16,76 \text{ kN}$
- $k = \frac{Mu (-) \times 10^6}{0,9 \times b \times dx^2}$
- $= 10,08$
- $\rho = \frac{0,85 f'c}{fy} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \times f'c}} \right)$
- $= 0,03$
- ρ maks $= 0,36 \times \left(\frac{0,85 \times f'c \times d}{fy} \right)$
- $= 0,047$

Arah Positif

- $V_u = 16,76 \text{ kN}$

- $k = \frac{Mu (+) \times 10^6}{0,9 \times b \times dx^2}$
 $= 0,19$
- $\rho = \frac{0,85 f'c}{fy} \times (1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \times f'c}})$
 $= 0,00045$
- $\rho \text{ maks} = 0,36 \times \left(\frac{0,85 \times f'c \times d}{fy} \right)$
 $= 0,048$
- **Penulangan di tumpuan menggunakan tulangan lentur D13**
Arah negatif
 - $As \text{ req} = \rho \times d \times b$
 $= 0,0115 \times 80,5 \times 1000$
 $= 60,04 \text{ mm}$
 - $As \text{ min} = 0,002 \times b \times \text{tebal pelat}$
 $= 0,002 \times 1000 \times 120$
 $= 240 \text{ mm}$
 - $As \text{ use} = \text{max dari } As \text{ req atau } As \text{ min}$
 $= 240 \text{ mm}$
 - $S \text{ use} = \frac{\frac{\pi}{4} \times D13^2 \times bw}{As \text{ use}}$
 $= \frac{\frac{\pi}{4} \times 13^2 \times 1000}{240}$
 $= 553,05 \text{ mm}$
 - $S \text{ maks} = 3 \times \text{tebal pelat}$
 $= 3 \times 120$
 $= 360 \text{ mm}$
 - $\text{Jumlah tulangan (n)} = \frac{As \text{ use}}{As \text{ tulangan}}$
 $= \frac{240}{132,73}$
 $= 1,8$
 - $\text{Jumlah tulangan dipakai} = 2$

- S pasang = 250 mm

Digunakan tulangan lentur D13 – 250

Rekapitulasi penulangan pelat atap dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Rekapitulasi penulangan pelat 2 arah.

Pelat	Bentang	Arah	Tulangan
E	Bentang panjang	Negatif	D10 – 250
E	Bentang panjang	Positif	D10 – 250
E	Bentang pendek	Negatif	D10 – 250
E	Bentang pendek	Positif	D10 – 250
H	Bentang panjang	Negatif	D10 – 250
H	Bentang panjang	Positif	D10 – 250
H	Bentang pendek	Negatif	D10 – 250
H	Bentang pendek	Positif	D10 – 250

2.11 Perencanaan Tangga biasa dan darurat

Pemodelan tangga pada suatu bangunan merupakan bagian penting dalam desain arsitektur. Tangga tidak hanya berfungsi sebagai alat untuk berpindah dari satu tingkat ke tingkat lainnya, tetapi juga memiliki dampak signifikan terhadap estetika, fungsionalitas, dan keseluruhan desain interior bangunan. Penulangan tangga adalah proses pemberian struktur penopang dan penahan beban pada tangga agar mampu menahan beban bekerja dan memberikan kestabilan struktural.

2.11.1 Perhitungan dimensi tangga

- Panjang Bordes = 3000 mm
- Lebar Bordes = $(0,5 \times \text{Panjang bordes}) - \frac{1}{2} \text{ lebar void}$
= $1500 - 250 = 1250 \text{ mm}$
- Lebar void = 500 mm
- Lebar (antrede) = 300 mm
- Tinggi (optrade) = 175 mm
- Tebal pelat tangga = 150 mm

- Sudut tangga = $\text{arc tan } 175/300$
= 35,69
- Jumlah anak tangga = $\frac{\text{Tinggi lantai}}{\text{Optrade}}$
= $\frac{4300}{180}$
= 25 buah

Perhitungan pemodelan tangga yang sudah dihitung tadi merupakan perhitungan pemodelan tangga pada lantai 1, untuk perhitungan pemodelan tangga pada lantai basement dan 2 dapat dilihat pada Tabel 2.26.

Tabel 2.26 Perhitungan pemodelan tangga.

Lantai	Tinggi lantai	Optrade	Jumlah anak tangga
Basement	2500 mm	180 mm	14
Lantai 1	4300 mm	180 mm	25
Lantai 2	4000 mm	180 mm	23

2.11.2 Perhitungan penulangan tangga

- Mutu beton ($f'c$) = 30 MPa
- Kuat Tarik baja ($BjTS$) = 420 MPa
- Kuat tekan beton (fs) = 280 MPa
- Sel. Beton = 20 mm

1. Pembebanan per meter lebar tangga

Tinggi beban merata tangga

- t' = $\frac{0,5 \times O.A}{\sqrt{O^2 + A^2}}$
= $\frac{0,5 \times 180 \times 300}{\sqrt{180^2 + 300^2}}$
= 5 mm
- h = tebal pelat + t'
= 150 + 5
= 155 mm

$$\begin{aligned}
 - h' &= \frac{\text{tebal pelat}}{\cos a} + \frac{0}{2} \\
 &= \frac{150}{\cos 30,96} + \frac{180}{2} \\
 &= 256,8 \text{ mm} = 0,26 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Beban mati dan beban hidup

$$\begin{aligned}
 - \text{Beban pelat + anak tangga} &= h' \times 24 \\
 &= 0,26 \times 24 \\
 &= 6,16 \text{ kN/m} \\
 - \text{Tegel (2cm)} &= 0,02 \times 0,24 \\
 &= 0,0048 \text{ kN/m} \\
 - \text{Spesi (2cm)} &= 0,02 \times 0,21 \\
 &= 0,0042 \text{ kN/m} \\
 - \text{Railing tangga} &= 0,89 \text{ kN/m} + \\
 - \text{qdl} &= 7,06 \text{ kN/m} \\
 - \text{qll} &= 4,79 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

2. Pembebanan per meter lebar bordes

Perhitungan Beban mati dan beban hidup

$$\begin{aligned}
 - \text{Berat sendiri} &= 0,15 \times 24 \\
 &= 3,6 \text{ kN/m} \\
 - \text{Tegel (2cm)} &= 0,02 \times 0,24 \\
 &= 0,0048 \text{ kN/m} \\
 - \text{Spesi (2cm)} &= 0,02 \times 0,21 \\
 &= 0,0042 \text{ kN/m} \\
 - \text{Railing tangga} &= 0,89 \text{ kN/m} + \\
 - \text{qdl} &= 4,499 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$- q_{ll} = 4,79 \text{ kN/m}$$

Perhitungan reaksi tumpuan

$$\begin{aligned} - \text{qult tangga} &= (1,2 \times q_{dl} \text{ tangga}) + (1,6 \times q_{ll} \text{ tangga}) \\ &= (1,2 \times 7,06) + (1,6 \times 4,79) \\ &= 16,138 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{qult bordes} &= (1,2 \times 4,499) + (1,6 \times 4,79) \\ &= 13,063 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - R_a &= \text{Panjang total tangga} - \text{qult tangga} \times \text{panjang} \\ &\quad \text{total anak tangga} \times \\ &\quad \left(\frac{\text{panjang total anak tangga}}{2} + \text{panjang} \right. \\ &\quad \left. \text{bordes} \right) - \text{qult bordes} \times \text{panjang bordes} \times \\ &\quad \left(\frac{\text{panjang bordes}}{2} \right) \\ &= 5400 - 16,138 \times 3300 \times \left(\frac{3300}{2} + 3000 \right) - \\ &\quad 13,063 \times 3000 \times \left(\frac{3000}{2} \right) \\ &= 33,71 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - R_b &= \text{qult tangga} \times \text{panjang total anak tangga} \times \\ &\quad \left(\frac{\text{panjang total anak tangga}}{2} \right) + \text{qult} \\ &\quad \text{bordes} \times \text{panjang bordes} \times \\ &\quad \left(\frac{\text{panjang bordes}}{2} + \text{panjang total anak} \right. \\ &\quad \left. \text{tangga} \right) \\ &= 16,138 \times 3300 \times \left(\frac{3300}{2} \right) + 13,063 \times 3000 \times \\ &\quad \left(\frac{3000}{2} \right) \\ &= 45,16 \text{ kN} \end{aligned}$$

- $R_c = R_a - (\text{qult tangga} \times \text{panjang total anak tangga})$
 $= 33,71 - (16,138 \times 3300)$
 $= -19,54 \text{ kN}$
- $X = R_a \times (\text{panjang total anak tangga} - X) = r_c \times X$
 $X = 2,09 \text{ m}$
- $M_{\text{max}} = R_c \times X - \text{qult tangga} \times \left(\frac{x^2}{2}\right)$
 $= -19,54 \times 2,09 - 16,138 \times \left(\frac{2,09^2}{2}\right)$
 $= 35,21 \text{ kNm}$

Perhitungan penulangan tangga (lapangan dan tumpuan)

- $M_u = M_{\text{max}} = 35,21 \text{ kNm}$

Digunakan tul. Pokok D13

- $b_w = 1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$
- $h = \text{tebal pelat} + \text{tinggi beban merata}$
 $= 150 + 5$
 $= 150,5 \text{ mm}$
- $d = h - \text{sel. beton} - (0,5 \times D13)$
 $= 150,5 - 20 - (0,5 \times 13)$
 $= 124 \text{ mm} = 0,124 \text{ m}$

- $R_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi \times b_w \times d^2}$
 $= \frac{35,21}{0,9 \times 1 \times 13^2}$
 $= 2,55 \text{ kN/m}^2$

- $\rho \text{ min} = \frac{1,4}{f_y}$
 $= \frac{1,4}{420}$
 $= 0,003$

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

$$= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,55}{0,85 \times 30}}\right)$$

$$= 0,006$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \beta \times \frac{f'c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420}\right)$$

$$= 0,023$$

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

$$\text{As perlu} = \rho \times b_w \times d$$

$$= 0,006 \times 1000 \times 124$$

$$= 793,03 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min} = \rho \times b_w \times h$$

$$= 0,006 \times 1000 \times 150,5$$

$$= 501,67 \text{ mm}^2$$

$$\text{Spasi tulangan} = \frac{\frac{\pi}{4} \times D_{13}^2 \times b_w}{\text{As Perlu}}$$

$$= \frac{\frac{\pi}{4} \times 13^2 \times 1000}{793,03}$$

$$= 167,37 \text{ mm (dipakai 150 mm)}$$

$$\text{As pakai} = \frac{b_w \times 0,25 \pi \times D_{13}^2}{S.tul}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \pi \times 13^2}{167,37}$$

$$= 884,88 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan utama D13 – 150

Perhitungan tulangan susut

$$\text{As min} = b_w \times \rho_{\min} \times h$$

$$= 1000 \times 0,003 \times 124$$

$$= 501,67 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan P10

$$\text{Spasi tul. Susut} = \frac{\frac{\pi}{4} \times P_{10}^2 \times b_w}{\text{As Perlu}}$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 1000$$

$$= 793,03$$

$$= 156,56 \text{ mm (dipakai 150 mm)}$$

- As pakai

$$= \frac{bw \times 0,25 \pi \times P10^2}{S.tul}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \pi \times 10^2}{150}$$

$$= 523,59 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan susut P10 – 150

Cek kontrol geser

- Vu

$$= \text{Panjang total tangga} - \text{qult tangga} \times \text{panjang total anak tangga} \times \left(\frac{\text{panjang total anak tangga}}{2} + \text{panjang bordes} \right) - \text{qult bordes} \times \text{panjang bordes} \times \left(\frac{\text{panjang bordes}}{2} \right)$$

$$= 5400 - 16,138 \times 3300 \times \left(\frac{3300}{2} + 3000 \right) - 13,063 \times 3000 \times \left(\frac{3000}{2} \right)$$

$$= 33,71 \text{ kN}$$

- Vc

$$= 1/6 \times \sqrt{f'c} \times bw \times d$$

$$= 1/6 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 124$$

$$= 113,19 \text{ kN}$$

Vu < Vc (Tidak perlu tulangan geser)