

BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR

2.1 Data Umum Proyek

2.1.1 Data Proyek

Data proyek Pembangunan Perancangan Gedung Perkantoran Daerah Tangerang dijelaskan sebagai berikut

1. Nama Proyek : Gedung Perkantoran Tangerang
2. Lokasi : Tangerang, Banten, Indonesia
3. Jumlah Lantai : 7 Lantai (Dengan lantai 4 tidak terhitung)
4. Jenis Struktur : Struktur Beton Bertulang

2.1.2 Layout Proyek

Gedung Perkantoran Tangerang adalah Gedung 7 Lantai yang terletak di Kota Tangerang, Banten, Indonesia. Dengan luas total area lahan konstruksi sebesar 158,95 m² serta luas total bangunan sebesar 1271,6 m²

2.1.3 Fungsi Tiap Lantai

Setiap lantai pada Gedung Perkantoran Tangerang memiliki beberapa fungsi, pada lantai 1 digunakan untuk area lobby, lantai 2 digunakan sebagai lounge, lantai 3, 5, 6 dan 7 sebagai area kantor, dan lantai 8 digunakan untuk penthouse

Tabel 2. 1 Fungsi Tiap Lantai

Lantai	Tinggi (mm)	Elevasi (m)	Fungsi
Lantai 8	3900	27,3	Penthouse
Lantai 7	3900	23,4	Private Office
Lantai 6	3900	19,5	Internal Sitting Room
Lantai 5	3900	15,6	Commissionaire Room
Lantai 3	3900	11,7	Meeting Room

Lantai 2	3900	7,8	Lounge Area
Lantai 1	3900	0	Lobby Area

2.1.4 Data Material Struktur

1. Mutu Beton : $f_c' 30 \text{ Mpa}$
2. Berat Jenis Beton : 2400 kg/m^3
3. Modulus Elastisitas Beton : $27808,575 \text{ MPa}$
4. Mutu Baja : 420 MPa
5. Berat Jenis Baja : 7850
6. Modulus Elastisitas Baja : 200000 MPa

2.1.5 Acuan dan Standar Desain Perancangam

Acuan dan Standar yang dipakai pada proyek Gedung Perkantoran di daerah Tangerang adalah sebagai berikut :

- 1) SNI 2847-2019 Tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
- 2) SNI 2052-2017 Tentang Baja Tulangan.
- 3) SNI 1726-2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung.
- 5) SNI 1727-2020 Tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan.
- 6) SNI 8900-2020 Tentang Panduan Desain Sederhana untuk Bangunan Beton Bertulang.

2.2 Preliminary Design

2.2.1 Balok Induk

Penentuan tinggi minimum balok dengan kondisi tumpuan sederhana mengacu pada Tabel 9.3.1.1 SNI 2847:2019

- Bentang balok (L) = 9350 mm
- Tinggi minimum (h_{min}) = $\frac{L}{15} = \frac{9350}{15} = 623,33 \approx 700 \text{ mm}$

Lebar balok ditetapkan sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1.

- Lebar balok (b) = $\frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 700 = 420 \approx 450$

Tabel 2. 2 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

	Bentang (mm)	h min (mm)	h pakai (mm)	b min (mm)	b pakai (mm)	Dimensi (mm)
B1	9350	623.33	700	420	450	450 x 700
B2	7500	500	600	360	400	400 x 600

2.2.2 Balok Anak

Penentuan tinggi minimum balok dengan kondisi tumpuan sederhana mengacu pada Tabel 9.3.1.1 SNI 2847:2019

- Bentang balok (L) = 5000 mm
- Tinggi minimum (h_{min}) = $\frac{L}{21} = \frac{5000}{21} = 238,1 \approx 400 \text{ mm}$

Lebar balok ditetapkan sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1.

- Lebar balok (b) = $\frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 400 = 240 \approx 350 \text{ mm}$

Tabel 2. 3 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

	Bentang (mm)	h min (mm)	h pakai (mm)	b min (mm)	b pakai (mm)	Dimensi (mm)
Ba	5000	238.1	400	240	350	350 x 400

2.2.3 Kolom

Beban yang bekerja pada kolom dibagi menjadi dua kategori utama: beban mati struktur dan beban hidup struktur. Rincian lebih lanjut mengenai beban-beban ini akan dijelaskan dalam tabel terpisah, di mana Tabel 2.4 akan membahas beban untuk bagian atap, sedangkan Tabel 2.5 akan merinci beban untuk beban Aksial Daerah Kolom Atap

Tabel 2. 4 Perhitungan Beban Mati

Beban Mati						
Keterangan	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (kg/m ³)	Beban (kg/m ²)	Berat (kg)
B2	0.4	0.6	8.175	2400		4709
BA	0.35	0.45	29	2400		10962
Pelat	3.5	0.125	4.675	2400		4909
Waterprofing	3.5	0.02	4.675	2100		687
Plafond	3.5		4.675		11	180
Penggantung	3.5		4.675		7	115
MEP	3.5		4.675		15	245
Total						21807
Beban Hidup						
Atap	3.5		4.675		96	1570.8

Tabel 2. 5 Beban Aksial Daerah Kolom Lantai 1-8

Beban Aksial Daerah Kolom Lantai 1-8						
Beban Mati						
Keterangan	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (kg/m ³)	Beban (kg/m ²)	Berat (kg)
B2	0.4	0.6	8.175	2400		4709
BA	0.35	0.45	29	2400		10962
Pelat	3.5	0.125	4.675	2400		4909
Kolom	0.6	3.9	0.8	2400		4493
Pasir 3 cm	3.5	0.03	4.675	1800		884
Spesi 2 cm	3.5	0.02	4.675	2100		687
Dinding		3.9	0		105	0
Keramik	3.5		4.675		24	393
Plafond	3.5		4.675		11	180
Penggantung	3.5		4.675		7	115
MEP	3.5		4.675		15	245
Total						27576
Beban Hidup						
Lantai	3.5		4.675		192	3141.6

Berdasarkan Tabel 2.4 dan Tabel di awai diperoleh rincian beban mati dan beban hidup, sebagai berikut :

- Beban mati pada lantai 1-8 = 165454,88 kg
- Beban hidup pada lantai 1-8 = 18849,6 kg
- Beban mati pada atap = 21807 kg
- Beban hidup pada atap = 1570,8 kg

Total beban mati adalah 187262 kg dan total beban hidup adalah 20420,4 kg, oleh karena itu kombinasi beban yang bekerja pada kolom adalah sebagai berikut:

$$W_u = 1,2DL + 1,6LL$$

$$W_u = 1,2 \times 187262 + 1,6 \times 20420,4 = 257386,58 \text{ kg}$$

Luas kolom dapat dihitung berdasarkan Pasal 9.3.2.2 SNI 2847:2019.

$$A = \frac{W_u}{0,8 \times f_c'} = \frac{257386,58}{0,8 \times 30} = 1072 \text{ cm}^2$$

$$S = \sqrt{A} = \sqrt{1072} = 32,74 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

Bangunan mengalami rotasi pada mode 1 dan 2 saat dianalisis dengan ETABS, sehingga kolom yang digunakan berukuran 600 mm x 800 mm. Berikut merupakan tabel rekaputilasi dimensi kolom.

Tabel 2. 6 Rekapitulasi Dimensi Kolom

	Luas (A) (cm ²)	S min (cm)	S pakai (cm)	Dimensi (cm)
K1	2859.85	53.48	60	60 x 80
K2	2012.79	44.86	50	50 x 70

2.3 Penentuan Sistem Struktur dan Beban Gempa

Sistem struktur bangunan gedung adalah susunan elemen-elemen seperti balok, kolom, pelat, dan pondasi yang dirancang untuk menyalurkan beban bangunan ke tanah secara aman. Sistem ini memastikan bangunan stabil terhadap

beban vertikal dan lateral seperti gempa dan angin. Acuan utama dari penentuan system struktur ini adalah SNI 1726:2019

2.3.1 Kategori Risiko

SNI 1726:2019 mengelompokkan bangunan menjadi empat kategori risiko gempa. Berdasarkan evaluasi karakteristik dan fungsi Gedung Perkantoran ini, bangunan tergolong dalam Kategori II sesuai tabel klasifikasi yang ditetapkan.

Tabel 2. 7 Kategori Risiko Gempa

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

2.3.2 Faktor Keutamaan Gempa

Setelah menetapkan kategori risiko bangunan sesuai SNI 1726:2019, selanjutnya dapat ditentukan faktor keutamaan gempa (I_e) yang mengacu pada Tabel 2.6

standar tersebut. Berdasarkan analisis kategori risiko bangunan tipe II yang telah ditetapkan sebelumnya, diperoleh nilai faktor keutamaan gempa sebesar $I_e = 1,0$

Tabel 2. 8 Faktor Keutamaan Gempa

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

2.3.3 Kelas Situs

Berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019 tentang klasifikasi situs, terdapat enam kategori kelas situs yang ditentukan melalui investigasi tanah di lokasi gedung perkantoran di Tangerang. Hasil pengujian menunjukkan nilai N-SPT rata-rata sebesar 17,93, sehingga lokasi proyek diklasifikasikan sebagai Situs Tanah Sedang (SD) sesuai kriteria rentang nilai N antara 15 hingga 50. Data lengkap perhitungan N rata-rata disajikan pada Tabel [X], sedangkan penentuan kelas situs mengacu pada Tabel [Y] dalam standar tersebut.

Tabel 2. 9 NSPT untuk Kelas Situs

Lapis	NSPT	h (m)	Ti (m)	$N=Ti/NSPT$	ΣN	$N = 30/\Sigma N$	Situs
0	0	0	0	0	1.672772137	17.93430159	SD
1	5	2.225	2.225	0.445			
2	6	4.225	2	0.333333333			
3	8	6.225	2	0.25			
4	17	8.225	2	0.117647059			
5	18	10.225	2	0.111111111			
6	20	12.225	2	0.1			

7	40	14.225	2	0.05			
8	45	16.225	2	0.044444444			
9	49	18.225	2	0.040816327			
10	53	20.225	2	0.037735849			
11	57	22.225	2	0.035087719			
12	60	24.225	2	0.033333333			
13	76	26.225	2	0.026315789			
14	81	28.225	2	0.024691358			
15	86	30.225	2	0.023255814			

Tabel 2. 10 Daftar Kelas Situs

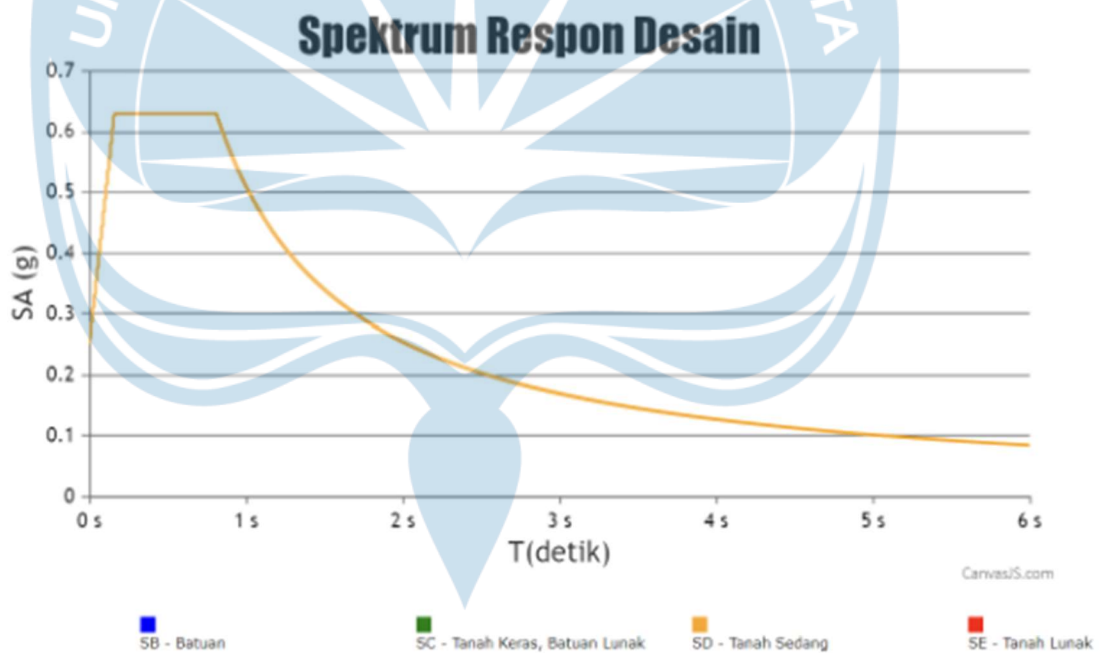
Kelas situs	$\bar{V}_x$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{cb}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 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)		

2.3.4 Respons Spektrum

Dalam menentukan respons spektrum desain, parameter dasar diperoleh melalui platform Desain Spektra Indonesia sebagai acuan awal, yang selanjutnya

diproses berdasarkan metodologi SNI 1726:2019. Data parameter yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- Rentang $T = 6 \text{ s}$
- $\text{PGA MCEG} = 0,3845 \text{ g}$
- $\text{SS Mcer} = 0,8037 \text{ g}$
- $S1 = 0,3987 \text{ g}$
- $\text{TL} = 20 \text{ detik}$
- $T0 = 0,16 \text{ detik}$
- $Ts = 0,81 \text{ detik}$
- $Sds = 0,63 \text{ g}$
- $Sd1 = 0,51$



Gambar 2. 1 Grafik Respon Spektrum

2.3.5 Kategori Desain Seismik

Penentuan dari kategori risiko desain seismik dengan membandingkan nilai SDS yang telah dihitung pada struktur rumah susun ASN 4 yang mengacu pada SNI 1726:2019. Maka dapat di tentukan kategorinya sesuai dengan tabel

Tabel 2. 11 Ktegori Desain Seismik

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

Jadi, bangunan Gedung Perkantoran Tangerang berada pada Lokasi dengan kategori risiki gempa Tingkat D

2.3.6 Pemilihan Sistem Struktur

Berdasarkan table 12 SNI 1726:2019 direncanakan bangunan Gedung Perkantoran Tangerang dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

- Koefisien Modifikasi Respons (R) = 8
- Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0) = 3
- Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) = 5,5

Tabel 2. 12 Tabel Sistem Struktur

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	1¼	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	

2.4 Pembebanan Struktur

2.4.1 Beban Mati

Beban Mati Sendiri adalah berat permanen dari struktur utama bangunan itu sendiri, seperti balok, kolom, pelat lantai, dan dinding struktural, yang dihitung berdasarkan volume material dan berat jenisnya. Beban ini bersifat konstan dan sudah ada sejak konstruksi selesai. Sedangkan, Beban Mati Tambahan (SIDL) adalah berat dari elemen non-struktural yang dipasang secara permanen setelah konstruksi utama selesai, seperti lantai keramik, plafon, instalasi listrik/AC, dinding partisi, atau finishing lainnya. Beban ini tidak termasuk dalam struktur utama tetapi tetap diperhitungkan dalam desain.

Tabel 2. 13 Beban Mati Lt. 1

Beban Mati Lantai 1							
Beban Mati							
Keterangan	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	Beban (kN/m ²)	Jumlah/luas (m ²)	Berat (kN)
B1	0,45	0,7	21,35	24			161,406
B1B							
B2	0,4	0,6	54,2	24			312,192
B2A							
B2B							
BA	0,35	0,45	29	24			109,62
Pelat		0,125		24		124,45	373,35
K. Tangga	0,6	3,6	0,6	24		1	31,104
K. Lift	0,4	3,6	0,4	24		3	41,472
Kolom	0,6	3,6	0,8	24		16	663,552
Pasir 3 cm		0,03		16		124,45	59,736
Spesi 2 cm		0,02		21		124,45	52,269
Dinding		3,6	21,35		1,05		80,703
Keramik					0,24	124,45	29,868
Plafond					0,11	124,45	13,6895
Penggantung					0,07	124,45	8,7115
MEP					0,15	124,45	18,6675
Total							1956,341

Tabel 2. 14 Beban Mati Lt.2

Beban Mati Lantai 2							
Beban Mati							
Keterangan	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	Beban (kN/m ²)	Jumlah/luas (m ²)	Berat (kN)
B1	0,45	0,7	21,35	24			161,406
B1B							
B2	0,4	0,6	54,2	24			312,192
B2A							
B2B							
BA	0,35	0,4	25,5	24			85,68
Pelat		0,125		24		124,45	373,35
K. Tangga	0,6	3,6	0,6	24		1	31,104
K. Lift	0,6	3,6	0,6	24		3	93,312
Kolom	0,6	3,6	0,8	24		16	663,552
Pasir 3 cm		0,03		16		124,45	59,736
Spesi 2 cm		0,02		21		124,45	52,269
Dinding		3,6	21,35		1,05		80,703
Keramik					0,24	124,45	29,868
Plafond					0,11	124,45	13,6895
Penggantung					0,07	124,45	8,7115
MEP					0,15	124,45	18,6675
Total							1984,241

Beban Mati Lantai 7-Atap							
Beban Mati							
Keterangan	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	Beban (kN/m ²)	Jumlah/luas (m ²)	Berat (kN)
B1	0,45	0,7	41,55	24			314,118
B1B							
B2	0,4	0,6	37,7	24			217,152
B2A							
B2B							
BA	0,35	0,4	69,85	24			234,696
Pelat		0,125		24		138,475	415,425
K.Tangga	0,6	3,6	0,6	24		1	31,104
K. Lift	0,4	3,6	0,4	24		3	41,472
Kolom	0,5	3,6	0,7	24		16	483,84
Pasir 3 cm		0,03		16		124,45	59,736
Spesi 2 cm		0,02		21		124,45	52,269
Dinding		3,6	21,35		1,05		80,703
Keramik					0,24	124,45	29,868
Plafond					0,11	124,45	13,6895
Penggantung					0,07	124,45	8,7115
MEP					0,15	124,45	18,6675
Total							2001,452

Tabel 2. 15 Beban Mati Lt. 3-6

Beban Mati Lantai 3-6							
Beban Mati							
Keterangan	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	Beban (kN/m ²)	Jumlah/luas (m ²)	Berat (kN)
B1	0,45	0,7	41,55	24			314,118
B1B							
B2	0,4	0,6	37,7	24			217,152
B2A							
B2B							
BA	0,35	0,4	52,85	24			177,576
Pelat		0,125		24		138,475	415,425
K.Tangga	0,6	3,6	0,6	24		1	31,104
K. Lift	0,4	3,6	0,4	24		3	41,472
Kolom	0,5	3,6	0,7	24		16	483,84
Pasir 3 cm		0,03		16		124,45	59,736
Spesi 2 cm		0,02		21		124,45	52,269
Dinding		3,6	21,35		1,05		80,703
Keramik					0,24	124,45	29,868
Plafond					0,11	124,45	13,6895
Penggantung					0,07	124,45	8,7115
MEP					0,15	124,45	18,6675
Total							1944,332

2.4.2 Beban Hidup

Menurut SNI 1727:2020, beban hidup didefinisikan sebagai beban dinamis yang bersifat tidak permanen dan dapat berubah-ubah selama masa layan struktur, yang diakibatkan oleh aktivitas penghuni, pergerakan orang, perabotan, peralatan, atau kendaraan dalam bangunan, dimana besaran nilainya ditentukan

berdasarkan fungsi dan klasifikasi penggunaan bangunan serta dapat dilakukan reduksi sesuai ketentuan dan persyaratan yang diatur dalam standar tersebut untuk tujuan perencanaan struktur.

Tabel 2. 16 Beban HIDUP

HIDUP			
Ruang pribadi dan koridor		1,92	kN/m ²
Koridor ruang publik		4,79	kN/m ²
Atap beton bukan untuk hunian		0,96	kN/m ²
Lahan parkir		4	kN/m ²

2.4.3 Kombinasi Pembebanan

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, kombinasi pembebanan harus mempertimbangkan kedua komponen beban gempa, yaitu aksi horizontal dan vertikal, sebagaimana diatur dalam standar perencanaan gempa. Berdasarkan analisis terhadap seluruh kemungkinan kombinasi, terdapat total 34 skenario pembebanan yang perlu dievaluasi, dengan rincian lengkap dapat dilihat pada tabel kombinasi pembebanan terkait. Berdasarkan SNI 1726:2019 dengan faktor kombinasi sebagai berikut:

Tabel 2. 17 Kombinasi Pembebanan

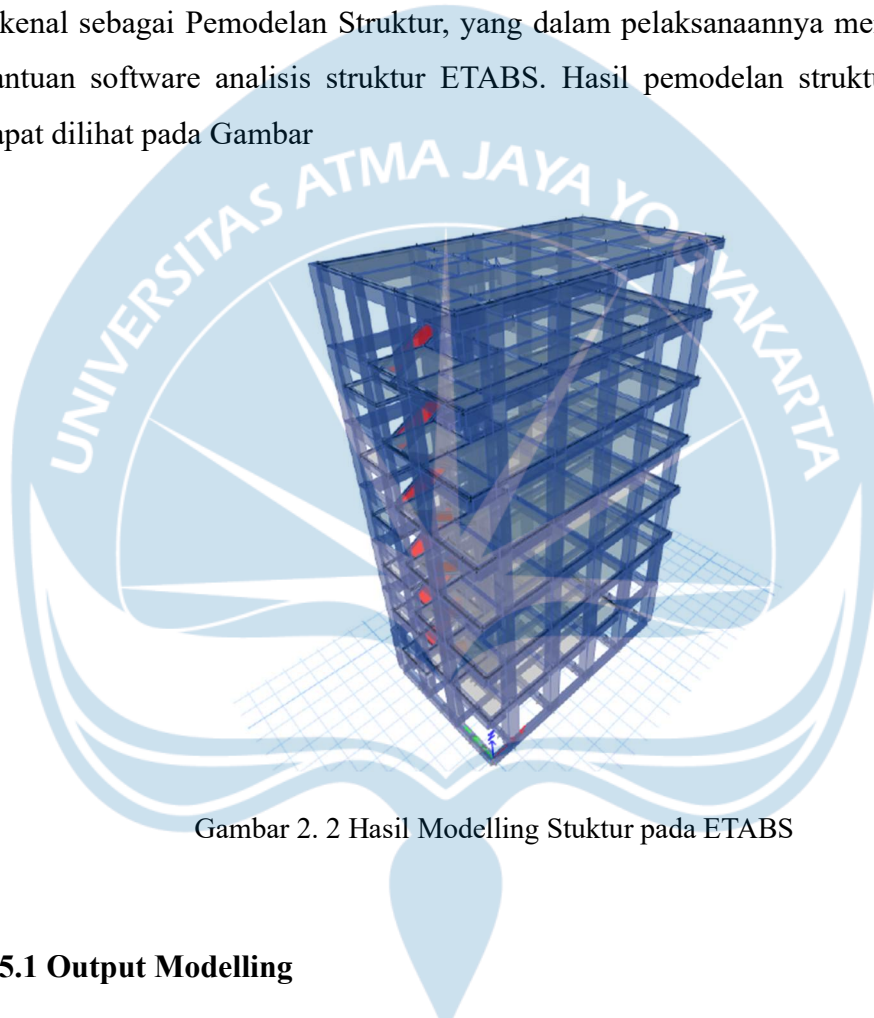
1	1.4 D
2	1.2D + 1,6 L
3	1.2 D + 1.0 L* + 1.0 Ex + 0.3 Ey
4	1.2 D + 1.0 L - 1.0 Ex + 0.3 Ey
5	1.2 D + 1.0 L + 1.0 Ex - 0.3 Ey
6	1.2 D + 1.0 L - 1.0 Ex - 0.3 Ey
7	1.2 D + 1.0 L + 0.3 Ex + 1.0 Ey
8	1.2 D + 1.0 L + 0.3 Ex - 1.0 Ey
9	1.2 D + 1.0 L - 0.3 Ex + 1.0 Ey
10	1.2 D + 1.0 L - 0.3 Ex - 1.0 Ey
11	0.9 D + 1.0 Ex + 0.3 Ey
12	0.9 D + 1.0 Ex - 0.3 Ey
13	0.9 D - 1.0 Ex + 0.3 Ey
14	0.9 D - 1.0 Ex - 0.3 Ey
15	0.9 D + 0.3 Ex + 1.0 Ey
16	0.9 D - 0.3 Ex + 1.0 Ey
17	0.9 D + 0.3 Ex - 1.0 Ey
18	0.9 D - 0.3 Ex - 1.0 Ey

Tabel 2. 18 Kombinasi Beban dengan SE

1	1,4 D
2	1,2 D + 1,6 L
3	$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + \rho Ex + 0,3 \rho Ey$
4	$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + \rho Ex - 0,3 \rho Ey$
5	$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - \rho Ex + 0,3 \rho Ey$
6	$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - \rho Ex - 0,3 \rho Ey$
7	$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho Ex + \rho Ey$
8	$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho Ex + \rho Ey$
9	$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho Ex - \rho Ey$
10	$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho Ex - \rho Ey$
11	$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + \rho Ex + 0,3 \rho Ey$
12	$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + \rho Ex - 0,3 \rho Ey$
13	$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - \rho Ex + 0,3 \rho Ey$
14	$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - \rho Ex - 0,3 \rho Ey$
15	$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho Ex + \rho Ey$
16	$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho Ex + \rho Ey$
17	$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho Ex - \rho Ey$
18	$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho Ex - \rho Ey$

2.5 Permodelan Struktur

Dalam analisis sistem struktur, diperlukan penyederhanaan bentuk bangunan menjadi model struktur yang ideal untuk mempermudah perhitungan. Proses ini dikenal sebagai Permodelan Struktur, yang dalam pelaksanaannya menggunakan bantuan software analisis struktur ETABS. Hasil pemodelan struktur tersebut dapat dilihat pada Gambar



Gambar 2. 2 Hasil Modelling Stuktur pada ETABS

2.5.1 Output Modelling

Perhitungan beban gempa ini mengacu pada panduan yang terdapat dalam SNI 1726:2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung yang datanya diambil dari keluaran modelling bangunan menggunakan software ETabs.

- **Data Percepatan Gempa**

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 6 dan Tabel 7 dapat dilihat pada Tabel 2.19 mengenai koefisien situs F_a dan koefisien situs F_v .

Tabel 2. 19 Koefisien Situs Fa dan Koefisien Situs Fv

Tabel 6 – Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

CATATAN:

- (a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Tabel 7 – Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

CATATAN:

- (a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

$$\text{Spektral Percepatan Periode Pendek } (S_s) = 0,8037 \text{ g}$$

$$\text{Spektral Percepatan Periode 1 Detik } (S_1) = 0,3987 \text{ g}$$

$$\text{Koefisien Situs } (F_a) = \frac{0,75-1}{1,2-1,1} = \frac{0,8037-1}{F_a-1,1} = 1,17852$$

$$\text{Koefisien Situs } (F_v) = \frac{0,3-0,4}{2-1,9} = \frac{0,3987-0,4}{F_a-1,9} = 1,9013$$

$$\begin{aligned} \text{Percepatan Desain Periode Pendek } (S_{DS}) &= \frac{2}{3} \times F_a \times S_s = \frac{2}{3} \times 1,17851 \times \\ 0,8037 &= 0,6315 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percepatan Desain Periode 1 Detik } (S_{D1}) &= \frac{2}{3} \times F_v \times S_1 = \frac{2}{3} \times 1,9013 \times \\ 0,3987 &= 0,5054 \text{ g} \end{aligned}$$

$$T_0 = \frac{0,2 \times S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,2 \times 0,5054}{0,6315} = 0,1601 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,5054}{0,6315} = 0,8003 \text{ detik}$$

- **Parameter Gempa**

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 4 dapat dilihat pada Tabel 2.20 mengenai Faktor Keutamaan Gempa I_e . Tabel Faktor Keutamaan Gempa I_e

Tabel 2. 20 Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 4 – Faktor keutamaan gempa

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

Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1

Koefisien Modifikasi Respons (R) = 8

Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0) = 3

Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) = 5,5

- **Periode Struktur**

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 17 dan Tabel 18 dapat dilihat pada Tabel 2.21 dan Tabel 2.22 mengenai koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung dan nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tabel 2. 21 Koefisien C_u

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 2. 22 Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

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

Percepatan Desain periode 1 Detik (S_{D1}) = 0,5054 g

Koefisien untuk Batas Periode (C_u) = 1,4

Parameter Periode Pendekatan (C_t) = 0,0466

Parameter Periode Pendekatam (x) = 0,9

Tinggi Bangunan (Seismik) (h) = 27,3 m

Periode Fundamental Pendekatan (T_a) = $C_t \times h^x = 0,0466 \times 27,3^{0,9} = 0,9140 \text{ detik}$

Periode Maksimum (T_{max}) = $C_u \times T_a = 1,4 \times 0,9140 = 1,280 \text{ detik}$

Periode Hasil Analisis Arah X ($T_{c,X}$) = 0,744 detik

Periode Hasil Analisis Arah Y ($T_{c,Y}$) = 0,758 detik

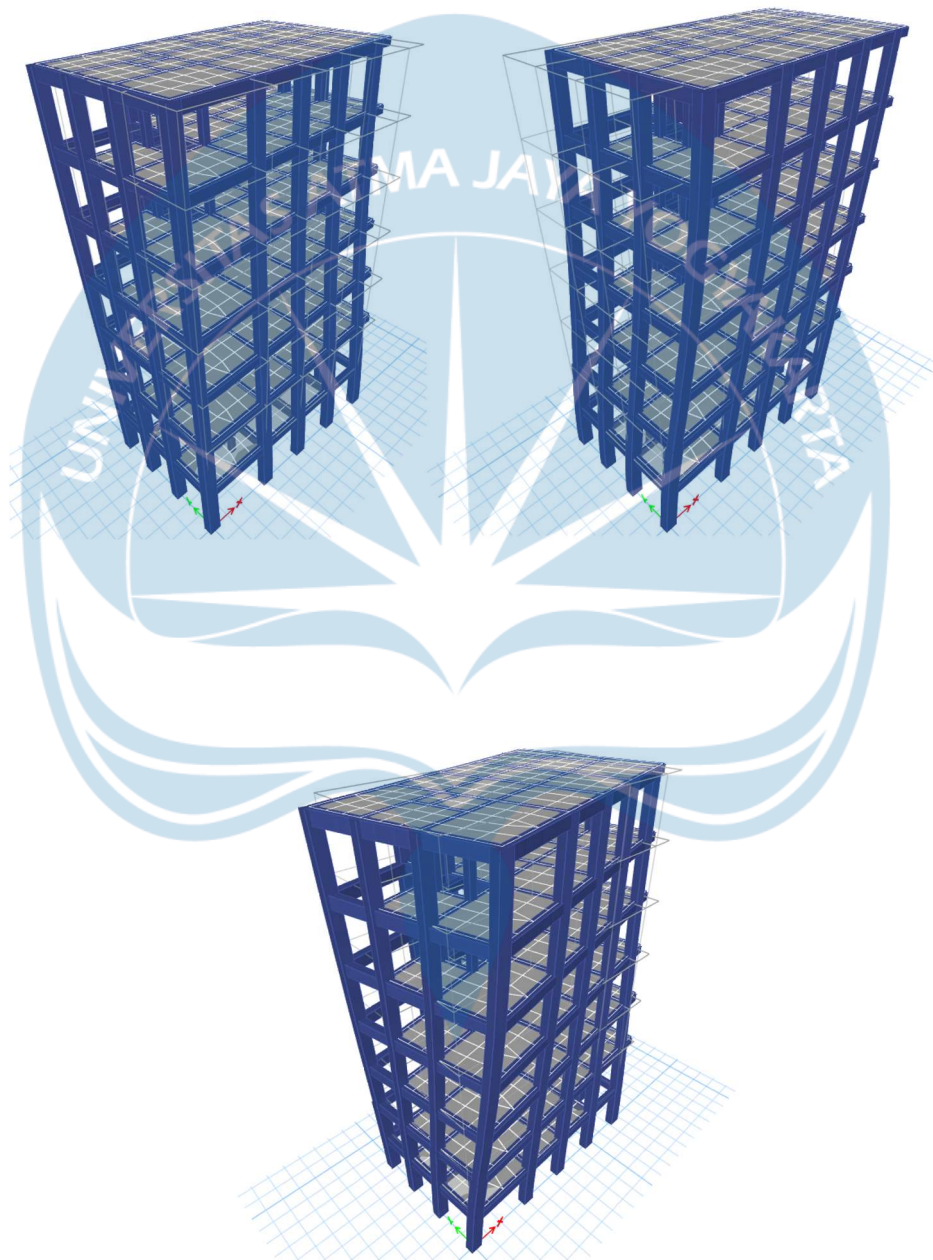
Periode Pakai Arah X (T_X) = 0,744 detik

Periode Pakai Arah Y (T_Y) = 0,758 detik

• Bentuk dan Jumlah Ragam

Dalam analisis dinamik menggunakan ETABS, bentuk dan jumlah ragam getar yang cukup diperlukan untuk mewakili respons dinamis struktur secara akurat. Ragam getar (mode shapes) menunjukkan pola deformasi struktur pada

frekuensi tertentu, dan jumlah ragam dianggap cukup jika mampu menangkap minimal 90% massa efektif struktur dalam arah X dan Y. Jumlah ini ditentukan berdasarkan hasil modal participation mass ratio, dan umumnya bergantung pada ketinggian serta kompleksitas bangunan.



Gambar 2. 3 Jumlah Ragam dari ETABS

Tabel 2. 23 Jumlah Ragam

Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1,078	0,0115	0,7437	0	0,0115	0,7437	0	0,2152	0,0033	0,0597	0,2152	0,0033	0,0597
2	0,974	0,7583	0,0211	0	0,7698	0,7647	0	0,006	0,2321	0,017	0,2213	0,2354	0,0768
3	0,756	0,027	0,0439	0	0,7968	0,8087	0	0,0106	0,0094	0,7322	0,2318	0,2448	0,809
4	0,35	0,0008	0,0976	0	0,7976	0,9062	0	0,4973	0,0042	0,0057	0,7292	0,249	0,8147
5	0,31	0,1035	0,0022	0	0,9011	0,9084	0	0,0105	0,4871	0,0032	0,7397	0,7361	0,8179
6	0,249	0,0039	0,0084	0	0,905	0,9168	0	0,0389	0,0199	0,0967	0,7786	0,756	0,9146
7	0,197	0,0001	0,0345	0	0,9051	0,9513	0	0,0601	0,0002	0,0024	0,8387	0,7562	0,917
8	0,169	0,0402	0,0006	0	0,9453	0,9519	0	0,0012	0,0709	0,0018	0,8399	0,827	0,9188
9	0,145	0,0021	0,0057	0	0,9474	0,9577	0	0,0149	0,0033	0,0346	0,8548	0,8304	0,9534
10	0,131	2,478E-06	0,0155	0	0,9474	0,9731	0	0,0602	0	0,0027	0,9149	0,8304	0,9561
11	0,109	0,0208	0,0003	0	0,9682	0,9735	0	0,0012	0,0721	0,0014	0,9162	0,9024	0,9576
12	0,1	0,0015	0,008	0	0,9697	0,9814	0	0,0247	0,0054	0,0082	0,9409	0,9079	0,9658

- Gaya Geser Dasar Seismik**

SNI 1726:2019 digunakan sebagai dasar dalam perhitungan gaya geser dasar seismik.

Koefisien Resnpons Seismik (C_s) $= \frac{S_{DS}}{R} = \frac{0,6315}{\frac{8}{1}} = 0,0789$

Batas Atas ($C_{s,max,X}$) $= \frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{I_e}} = \frac{0,5054}{0,744 \times \frac{8}{1}} = 0,0849$

($C_{s,max,Y}$) $= \frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{I_e}} = \frac{0,5054}{0,758 \times \frac{8}{1}} = 0,0833$

Batas Bawah ($C_{s,min,1}$) $= 0,044 \times S_{DS} \times I_e = 0,044 \times 0,6315 \times 1 = 0,0278$

Batas Bawah (dipakai jika $S_1 \geq 0,6$ g) ($C_{s,min,2}$) $= 0,5 \times \frac{S_1}{R} = \frac{0,5 \times 0,3987}{\frac{8}{1}} = 0,0249$

Koefisien Respons Seismik Pakai ($C_{s,pakai,X}$) $= 0,0789$

($C_{s,pakai,Y}$) $= 0,0789$

Tabel 2. 24 Massa Lantai

Lantai	Massa
	(kg)
Rooftop	168772.67
Story 8	185985.86
Story 7	192411.15
Story 6	192411.15
Story 5	192411.15
Story 3	199654.35
Story 2	170254.15
Story 1	36878.4
Total	1338778.9

$$\text{Berat Seismik Efektif } W = \frac{\text{Totas massa} \times 9,8}{1000} = \frac{1338778,9 \times 9,8}{1000} = 13129 \text{ kN}$$

- **Penskalaan Gaya**

SNI 1726:2019 digunakan sebagai dasar dalam perhitungan penskalaan gaya.

$$\text{Gaya Geser Statik (Manual) } (V) = C_s \times W$$

$$(V_X) = 0,0789 \times 13129 = 1036,28 \text{ kN}$$

$$(V_Y) = 0,0789 \times 13129 = 1036,28 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya Geser Statik (ETABS) } (V_X) = 1007,74 \text{ kN}$$

$$(V_Y) = 1007,74 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor Skala Awal } (SF) = \frac{g}{R} = \frac{9,8}{\frac{8}{1}} = 1,226 \frac{m}{s^2} = 1225,83 \frac{mm}{s^2}$$

$$\text{Gaya Geser Respon Spektra Unscaled } (V_{i,X}) = 651,261 \text{ kN}$$

$$(V_{i,Y}) = 585,717 \text{ kN}$$

$$\text{Penskalaan Gaya Gempa } (f_X) = \frac{1036,28}{651,261} = 1,591$$

$$(f_Y) = \frac{1036,28}{585,717} = 1,769$$

Faktor Skala Baru $(S_{FX}) = 1225,83 \times 1,591 = 1950,54 \text{ mm/s}^2$

$$(S_{FY}) = 1225,83 \times 1,769 = 2168,81 \text{ mm/s}^2$$

- **Penskalaan Simpangan**

Koefisien Respons Seismik $(C_s) = 0,5 \times \frac{S_1}{I_e} = \frac{0,5 \times 0,3987}{\frac{8}{1}} = 0,0249$

Gaya Geser Statik (Simpangan) $(V) = C_s \times W = 0,0249 \times 13129 = 327,16 \text{ kN}$

Faktor Skala Awal $(SF) = 1225,83 \text{ mm/s}^2$

Gaya Geser Respon Spektra Unscaled $(V_{i,X}) = 651,261 \text{ kN}$

$$(V_{i,Y}) = 585,717 \text{ kN}$$

Penskalaan Simpangan $(f_X) = 1$

$$(f_Y) = 1$$

Faktor Skala Baru $(S_{FX}) = 1225,83 \times 1 = 1225,83 \text{ mm/s}^2$

$$(S_{FY}) = 1225,83 \times 1 = 1225,83 \text{ mm/s}^2$$

- **Simpangan Antar Tingkat**

Simpangan antar tingkat adalah selisih perpindahan lateral antara dua lantai berturut-turut yang dibagi dengan tinggi bersih antar lantai, dan menjadi indikator penting dalam menilai deformasi bangunan akibat gempa. Menurut SNI 1726:2019, simpangan ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur dalam menghadapi beban seismik, khususnya untuk mengontrol kerusakan pada elemen struktural dan non-struktural. Nilai simpangan antar tingkat dibatasi, yaitu

maksimal 0,02 kali tinggi tingkat untuk elemen non-struktural kaku dan 0,025 kali tinggi tingkat untuk elemen non-struktural fleksibel. Batasan ini bertujuan untuk menjaga kestabilan, kenyamanan, dan keselamatan penghuni bangunan selama dan setelah terjadinya gempa.

Tabel 2. 25 Simpangan antar tingkat izin

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}$ ^c	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Dari tabel simpangan antar tingkat Izin $\Delta_a^{a,b}$ diperoleh simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a = 0,020h$.

$$\rho = 1,3$$

$$\Delta_{max} = \Delta / \rho = 0,020h / 1,3 = 0,0154h$$

$$Cd = 5,5$$

$$Ie = 1$$

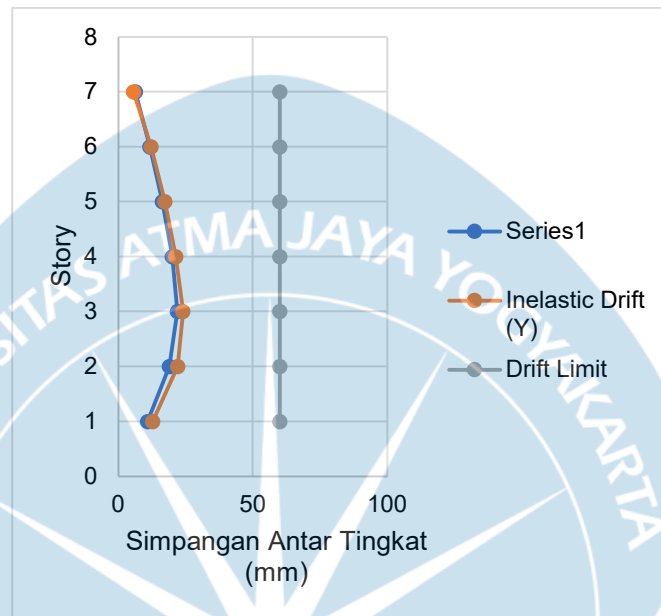
Rumus untuk mencari story drift inelastik adalah sebagai berikut:

$$\Delta = \delta.Cd / Ie$$

Tabel 2. 26 Story Drift

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
7	19,371	21,026	1,166	1,031	3900	6,413	5,670	60,000	OK
6	18,205	19,995	2,135	2,222	3900	11,743	12,221	60,000	OK
5	16,070	17,773	2,977	3,156	3900	16,374	17,358	60,000	OK
4	13,093	14,617	3,645	3,884	3900	20,048	21,362	60,000	OK
3	9,448	10,733	3,994	4,376	3900	21,967	24,068	60,000	OK
2	5,454	6,357	3,465	4,030	3900	19,058	22,165	60,000	OK
1	1,989	2,327	1,989	2,327	3900	10,940	12,799	60,000	OK

Dari tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa simpangan elastic drift dari setiap lantai sudah ter check "OK" maka simpangan antar lantai dari struktur bangunan ini tergolong aman. Secara detail bisa dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 2. 4 Grafik Simpangan Antar Tingkat

- **Pengaruh P-delta**

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

Keterangan:

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN); bila menghitung P_x , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

θ = simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam 0, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat dan $x - 1$ (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat , (mm)

C_d = faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 12

$B = 1$

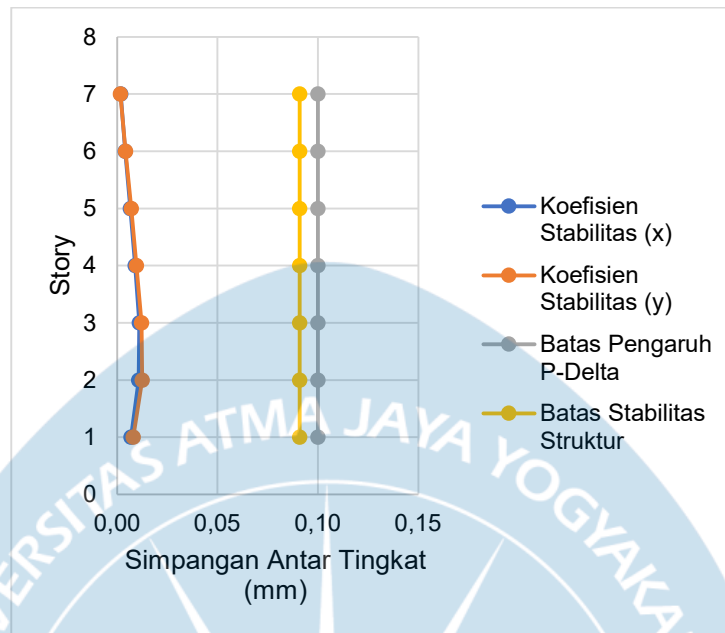
$$\theta_{max} = 0.5 / (\beta * C_d) \leq 0.25$$

$$= 0,1$$

Tabel 2. 27 Tabel Pengecekan Batas Pengaruh P Delta

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_x	θ_y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
7	6,413	5,670	1391,66	235,09	233,44	3900	0,0018	0,0016	0,1	0,0909	OK
6	11,743	12,221	3339,61	450,58	447,44	3900	0,0041	0,0043	0,1	0,0909	OK
5	16,374	17,358	5453,62	636,94	630,81	3900	0,0065	0,0070	0,1	0,0909	OK
4	20,048	21,362	7567,64	788,54	780,32	3900	0,0090	0,0097	0,1	0,0909	OK
3	21,967	24,068	9681,65	903,45	896,43	3900	0,0110	0,0121	0,1	0,0909	OK
2	19,058	22,165	11783,16	980,68	977,52	3900	0,0107	0,0125	0,1	0,0909	OK
1	10,940	12,799	13619,30	1008,36	1008,07	3900	0,0069	0,0081	0,1	0,0909	OK

Berdasarkan dari perhitungan dan pengecekan pengaruh P-Delta pada Tabel 2. 34 di atas dapat disimpulkan bahwa pengaruh P-delta pada bangunan ini aman. Grafik pengaruh P-delta dapat dilihat pada Gambar 2. 24 berikut



Gambar 2. 5 Grafik Pengaruh P-Delta

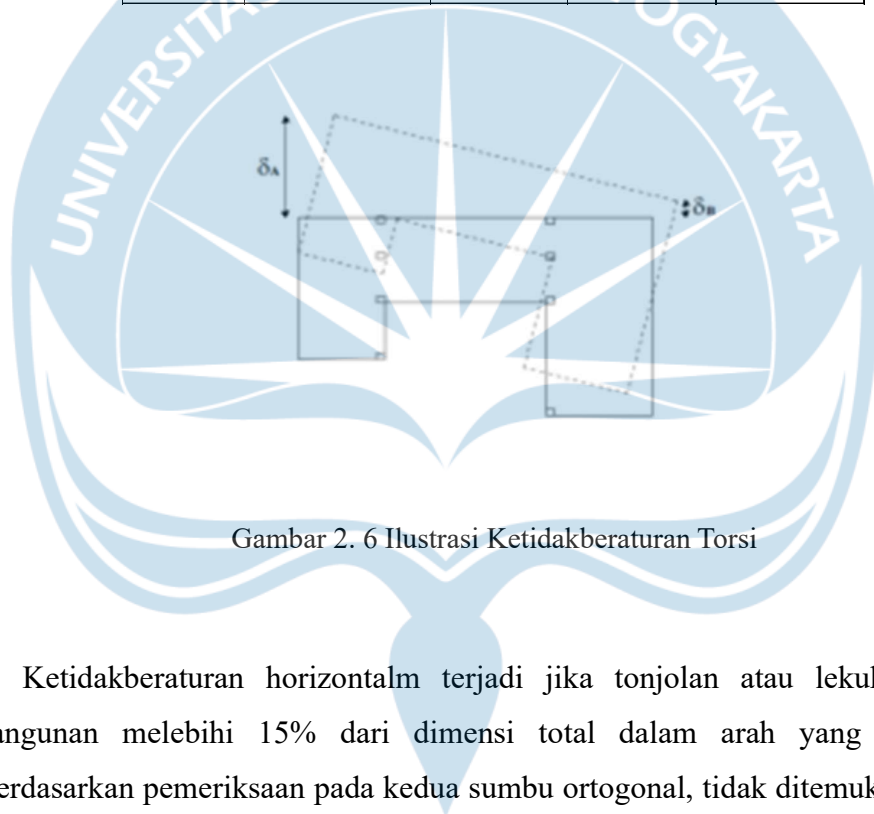
2.5.2 Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan horizontal B3 adalah ketidakberaturan torsi yang terjadi jika simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa di satu sisi bangunan melebihi 1,2 kali simpangan rata-rata dari kedua sisi. Ketentuan ini berlaku untuk struktur dengan diafragma lantai kaku atau setengah kaku, dan menunjukkan distribusi kekakuan yang tidak merata secara horizontal.

Ketidakberaturan torsi berlebihan tipe 1b terjadi jika simpangan antar tingkat maksimum melebihi 1,4 kali simpangan rata-rata, dengan mempertimbangkan efek torsi tak terduga ($A_x = 1,0$). Ketentuan ini hanya berlaku untuk struktur dengan diafragma kaku atau setengah kaku. Hasil analisis menunjukkan nilai simpangan melebihi 1,2 dan 1,4 kali simpangan rata-rata, sehingga struktur mengalami ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b.

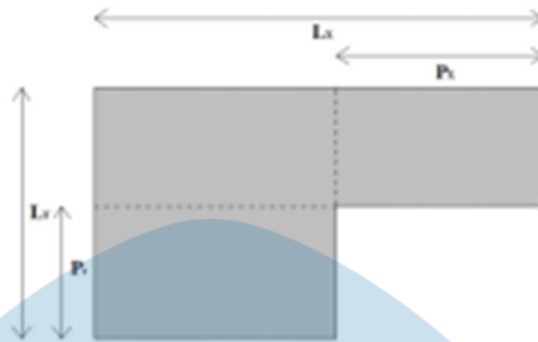
Tabel 2. 28 Data Ketidakberaturan Torsi

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
8	1,062	OK	1,137	OK
7	1,058	OK	1,153	OK
6	1,058	OK	1,163	OK
5	1,057	OK	1,17	OK
3	1,056	OK	1,174	OK
2	1,056	OK	1,164	OK
1	1,067	OK	1,098	OK



Gambar 2. 6 Ilustrasi Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan horizontal terjadi jika tonjolan atau lekukan denah bangunan melebihi 15% dari dimensi total dalam arah yang dianalisis. Berdasarkan pemeriksaan pada kedua sumbu ortogonal, tidak ditemukan kondisi tersebut, sehingga ketidakberaturan tipe 2 tidak terdeteksi pada struktur.



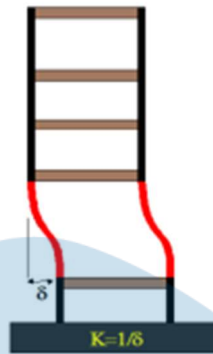
Gambar 2. 7 Ketidakberaturan Sudut Dalam

2.5.3 Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak tipe 1a terjadi jika kekakuan lateral suatu tingkat kurang dari 70% dari tingkat di atasnya atau kurang dari 80% rata-rata tiga tingkat di atas. Sementara itu, tipe 1b terjadi jika kekakuannya kurang dari 60% dari tingkat di atasnya atau kurang dari 70% rata-rata tiga tingkat di atas. Berdasarkan hasil analisis, tidak ditemukan kondisi tersebut, sehingga ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b tidak ada. Perhitungannya disajikan pada Tabel

Tabel 2. 29 Data Ketidakberaturan Vertikal

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan kN/m	Cek	Kekakuan kN/m	Cek
8	111480,736	OK	98995,824	OK
7	133679,377	OK	115076,736	OK
6	138243,197	OK	119267,813	OK
5	140832,47	OK	121497,733	OK
3	147772,544	OK	124798,965	OK
2	184365,073	OK	154664,328	OK
1	335107,42	OK	249611,078	OK



Gambar 2. 8 Ilustrasi Ketidakberaturan Massa

Ketidakteraturan vertikal tipe 2 terjadi jika massa efektif pada suatu tingkat melebihi 150% dari massa efektif tingkat di atas atau di bawahnya. Pengecualian diberikan untuk atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya. Berdasarkan hasil analisis, kondisi tersebut ditemukan, sehingga ketidakberaturan vertikal tipe 2 ada. Rincian perhitungannya ditampilkan pada Tabel

Lantai	Massa	Cek
	kg	
Rooftop	168772,67	
8	185985,86	OK
7	192411,15	OK
6	192411,15	OK
5	192411,15	OK
3	199654,35	OK
2	170254,15	V.2
1	36878,4	OK

Gambar 2. 9 Data Ketidakberaturan Massa

Konsekuensi yang diberikan diatur dalam tabel 16 dalam SNI 1726:2019 berdasarkan pengamatan dan data dari bangunan, Ketidakteraturan 5b bisa diabaikan karena sudah dinotasi "I" dalam SNI

Tabel 2. 30 Prosedur Analisa yang Diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 0
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

2.6 Analisis Struktur Balok SRPMK

Balok adalah salah satu elemen struktur horizontal yang sangat penting yang memiliki fungsi krusial seperti menahan dan menyalurkan beban, menopang lantai dan atap, menjaga kestabilan dan kekakuan struktur, menyalurkan beban horizontal, serta menyediakan ruang untuk instalasi. Dalam perhitungan struktur balok digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai dengan standar yang berlaku, yaitu SNI 2847:2019 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung) karena Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menjamin kinerja struktur optimal saat menghadapi beban lateral, terutama beban gempa. Struktur dapat mengalami deformasi besar tanpa kehilangan kekuatan secara tiba-tiba karena sistem ini dirancang untuk menyediakan daktilitas yang memadai.

2.6.1 Balok (450x700)

A. Data Umum Balok

- Panjang Balok, (L) = 9350 mm
- Lebar Balok (b) = 450 mm
- Tinggi Balok (h) = 700 mm
- Panjang Tumpuan = 1400 mm
- Diameter Tulangan Longitudinal = 19 mm
- Diameter Tulangan Pinggang = 16 mm

- Diameter Tulangan Sengkang = 13 mm
- Selimut Bersih = 40 mm
- Tinggi Efektif Balok (d) = 637,5 mm
- Kuat Tekan Beton, f_c' 30 = MPa
- Kuat Leleh Tul. Longitudinal (f_y) = 420 MPa
- Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv} = 420 MPa
- β_1 = 0,8357
- Panjang Kolom c_1 = 800 mm
- Lebar Kolom c_2 = 600 mm
- L_n = 8550 mm
- λ = 1

B. Output Gaya Dalam pada Software ETabs

Tabel 2. 31 Gaya Dalam Balok Induk

Gaya Dalam		
$M_{u,tumpuan} (-)$	-335.7350	kN-m
$M_{u,tumpuan} (+)$	187.3311	kN-m
$M_{u,lapangan} (-)$	-335.7305	kN-m
$M_{u,lapangan} (+)$	182.8405	kN-m
P_u	66.0854	kN

Gaya Dalam		
$V_{u,tumpuan}$	182.9349	kN
$V_{u,lapangan}$	183	kN

$V_{g,tumpuan}$	189	kN
-----------------	-----	----

T_u	132.4936	kN m
-------	----------	------

C. Syarat Gaya dan Geometri

- Syarat Gaya Aksial

$$P_u \leq 0.1 A_g f_c'$$

$$66085,4 \leq 945000 \rightarrow \text{OK!}$$

- Syarat Tinggi Efektif

$$L_n \geq 4d$$

$$8550 \geq 2550 \rightarrow \text{OK!}$$

- **Syarat Lebar 1**

$$b \geq 0,3.h$$

$$450 \geq 210 \rightarrow \text{OK!}$$

- **Syarat Lebar 2**

$$b \leq c_2 + 2 \cdot c_2$$

$$450 > 1800 \rightarrow \text{OK!}$$

D. Design Penulangan Tumpuan Lentur Negatif

- Jumlah Tumpuan Negatif (n) = 6

- **Cek Jarak Bersih**

$$\frac{(450 \times 40 - 2 \times 13 - 6 \times 19)}{6 - 1} = 46 \geq 19 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Minimum**

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 19^2 \times 6 = 1701,172 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{Min } 1} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 450 \times 637,5 = 935,285 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{Min } 2} = \frac{1,4}{4 \times 420} \times 450 \times 637,5 = 956,250 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Pasang} > A_{s\text{Min } 2} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Maksimum**

$$\rho = \frac{1701,172}{(450 \times 637,5)} = 0,59\%$$

$$\rho_{\text{max},1} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,8357 \times 30}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 2,24\%$$

$$0,59\% \leq 2,24\% \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Kapasitas Lentur**

$$a = \frac{1701,172 \times 420}{(0,85 \times 30 \times 450)} = 62,265 \text{ mm}$$

$$M_n = (1701,172 \times 420) \times \frac{(637,5 - \frac{62,265}{2})}{10^6} = 433,245 \text{ kNm}$$

$$c = \frac{62,265}{0,8357} = 74,505 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{637,5 - 74,505}{74,505 \times 0,003} = 0,023$$

$$\phi \text{ syarat dari SNI} = 0,900$$

$$\phi M_n = 433,245 \times 0,900 = 389,920 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ tumpuan (-)} = 335,735 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n > M_u \text{ tumpuan (-)} \rightarrow \text{OK!}$$

E. Design Penulangan Tumpuan Lentur Positif

- Jumlah Tumpuan Negatif (n) = 4

- **Cek Jarak Bersih**

$$\frac{(450 - \times 40 - 2 \times 13 - 4 \times 19)}{4 - 1} = 89,333 \geq 19 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Minimum**

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 19^2 \times 4 = 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min } 1} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 450 \times 637,5 = 935,285 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{Min } 2} = \frac{1,4}{4 \times 420} \times 450 \times 637,5 = 956,250 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Pasang} > A_s \text{ Min } 2 \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Maksimum**

$$\rho = \frac{1134,115}{(450 \times 637,5)} = 0,40\%$$

$$\rho_{\text{max},1} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,8357 \times 30}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 2,24\%$$

$$0,40\% \leq 2,24\% \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Kapasitas Lentur**

$$a = \frac{1134,115 \times 420}{(0,85 \times 30 \times 450)} = 41,510 \text{ mm}$$

$$M_n = (1134,115 \times 420) \times \frac{(637,5 - \frac{41,510}{2})}{10^6} = 293,773 \text{ kNm}$$

$$c = \frac{41,510}{0,8357} = 49,670 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{637,5 - 49,670}{49,670 \times 0,003} = 0,036$$

ϕ syarat dari SNI = 0,900

$$\phi Mn = 293,773 \times 0,900 = 264,396 \text{ kNm}$$

M_u tumpuan (-) = 187,331 kN/m

$\phi M_n > M_u$ tumpuan (-) $\rightarrow$ **OK!**

F. Design Penulangan Lapangan Lentur Negatif

- Jumlah Tumpuan Negatif (n) = 6

- **Cek Jarak Bersih**

$$\frac{(450 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 6 \times 19)}{6 - 1} = 46 \geq 19 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Minimum**

$$As \text{ Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 19^2 \times 6 = 1701,172 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min 1} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 450 \times 637,5 = 935,285 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min 2} = \frac{1,4}{4 \times 420} \times 450 \times 637,5 = 956,250 \text{ mm}^2$$

$As \text{ Pasang} > As \text{ Min } 2 \rightarrow \text{OK!}$

- **Cek As Maksimum**

$$\rho = \frac{1701,172}{(450 \times 637,5)} = 0,59\%$$

$$\rho_{\max,1} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,8357 \times 30}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 2,24\%$$

$0,59\% \leq 2,24\% \rightarrow \text{OK!}$

- **Cek Kapasitas Lentur**

$$a = \frac{1701,172 \times 420}{(0,85 \times 30 \times 450)} = 62,265 \text{ mm}$$

$$Mn = (1701,172 \times 420) \times \frac{(637,5 - \frac{62,265}{2})}{10^6} = 433,245 \text{ kNm}$$

$$c = \frac{62,265}{0,8357} = 74,505 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{637,5 - 74,505}{74,505 \times 0,003} = 0,023$$

ϕ syarat dari SNI = 0,900

$$\phi M_n = 433,245 \times 0,900 = 389,920 \text{ kNm}$$

M_u tumpuan (-) = 335,731 kN/m

$\phi M_n > M_u$ tumpuan (-) → **OK!**

G. Design Penulangan Tumpuan Lentur Positif

- Jumlah Tumpuan Negatif (n) = 4

- **Cek Jarak Bersih**

$$\frac{(450 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 4 \times 19)}{4 - 1} = 89,333 \geq 19 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Minimum**

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 19^2 \times 4 = 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min } 1} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 450 \times 637,5 = 935,285 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{Min } 2} = \frac{1,4}{4 \times 420} \times 450 \times 637,5 = 956,250 \text{ mm}^2$$

$A_s \text{ Pasang} > A_s \text{ Min } 2 \rightarrow \text{OK!}$

- **Cek As Maksimum**

$$\rho = \frac{1134,115}{(450 \times 637,5)} = 0,40\%$$

$$\rho_{\text{max},1} = \frac{0,75 \times 0,85 \times 0,8357 \times 30}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 2,24\%$$

$0,40\% \leq 2,24\% \rightarrow \text{OK!}$

- **Cek Kapasitas Lentur**

$$a = \frac{1134,115 \times 420}{(0,85 \times 30 \times 450)} = 41,510 \text{ mm}$$

$$M_n = (1134,115 \times 420) \times \frac{(637,5 - \frac{41,510}{2})}{10^6}$$

$$= 293,773 \text{ kNm}$$

$$c = \frac{41,510}{0,8357} = 49,670 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{637,5 - 49,670}{49,670 \times 0,003} = 0,036$$

ϕ syarat dari SNI = 0,900

$$\phi M_n = 293,773 \times 0,900 = 264,396 \text{ kNm}$$

M_u tumpuan (-) = 182,841 kN/m

$\phi M_n > M_u$ tumpuan (-) $\rightarrow$ **OK!**

H. Design Tulangan Geser Tumpuan

- **Gaya Design**

$$\begin{aligned} M_{pr}(+) &= 1134,115 \times (1,25 \times 420) \times \left(637,5 - \frac{41,510}{2}\right) \\ &= 367216328 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}(-) &= 1701,172 \times (1,25 \times 420) \times \left(637,5 - \frac{62,256}{2}\right) \\ &= 541556166 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$V_{pr} = \left(\frac{367216328 + 541556166}{8550} \right) = 106289 \text{ N}$$

$$V_e = 189 \times 1000 + 106289 = 296062 \text{ N}$$

- **Tahanan Geser Beton**

Cek perhitungan V_c

$$P_u = 66085,4 \text{ N}$$

$$A_g \cdot f_c' / 20 \cdot \frac{(450 \times 700) \times 30}{20} = 472500 \text{ N}$$

$A_g \cdot f_c' / 20 < P_u$ maka V_c harus diperhitungkan

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{30} \times 450 \times 637,5 = 267117 \text{ N}$$

- **Penulangan Geser**

Jumlah Kaki (n) = 2

Spasi = 100 mm

Cek Spasi = $6 \times D = 6 \times 19 = 114 \geq 100 \text{ mm} \rightarrow$ **OK!**

Cek Kapasitas Geser

$$A_v = \frac{2\pi}{4 \times 13^2} = 265,465 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{265,465 \times 420 \times 637,2}{100} = 710781 \text{ N}$$

$$\text{Batas } V_s = 0,66 \times \sqrt{30} \times 450 \times 637,5 = 1037044 \text{ N}$$

$$\phi \text{ Syarat dari SNI} = 0,75$$

$$V_n = 267117 + 710781 = 977899 \text{ N}$$

$$V_u = 295062 \text{ N}$$

$$\phi V_n / V_u = \frac{0,75 \times 977899}{295062} = 2,486 > 1 \rightarrow \text{OK!}$$

I. Design Tulangan Geser Lapangan

$$\text{Jumlah Kaki (n)} = 2$$

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

$$\text{Cek Spasi} = \frac{637,5}{2} = 318,75 \geq 100 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

Cek Kapasitas Geser

$$A_v = \frac{2\pi}{4 \times 13^2} = 265,465 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{265,465 \times 420 \times 637,2}{150} = 473854 \text{ N}$$

$$\text{Batas } V_s = 0,66 \times \sqrt{30} \times 450 \times 637,5 = 1037044 \text{ N}$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{30} \times 450 \times 637,5 = 267117 \text{ N}$$

$$\phi \text{ Syarat dari SNI} = 0,75$$

$$V_n = 267117 + 473854 = 740972 \text{ N}$$

$$V_u = 182934,9 \text{ N}$$

$$\phi V_n / V_u = \frac{0,75 \times 740972}{182934,9} = 3,038 > 1 \rightarrow \text{OK!}$$

J. Design Penulangan Torsi

- Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi

$$A_{cp} = 450 \times 700 = 315000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (450 + 700) = 2300 \text{ mm}$$

$$x_o = 450 - 2 \times 40 - 13 = 357 \text{ mm}$$

$$y_o = 700 - 2 \times 40 - 13 = 607 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = 357 \times 607 = 216699 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times 216699 = 184194 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (357 + 607) = 1928 \text{ mm}$$

- **Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi**

$$T_u = 132,4936 \times 10^6 = 132493600 \text{ Nmm}$$

$$T_{cr} = \frac{0,33 \times \sqrt{30} \times 315000^2}{2300} = 77977236 \text{ Nmm}$$

ϕ Syarat dari SNI = 0,75

$$\phi T_{cr}/4 = \frac{0,75 \times 77977236}{4} = 14620732 \leq T_u \text{ maka } \mathbf{Dibutuhkan}$$

Tulangan Torsi

- **Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang**

Karena penampang statis tak tentu, maka digunakan jenis torsi

Kompabilitas dengan $T_u = 58482927 \text{ Nmm}$

$$V_u = 295062 \text{ N}$$

$$V_c = 267117 \text{ N}$$

$$\text{Tegangan Ultimate Geser} + \text{Torsi} = \left(\left(\frac{295062}{450 \times 637,5} \right)^2 + \left(\frac{58482927 \times 1928}{1,7 \times 216699^2} \right)^2 \right)^{0,5} = 1,747 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kapasitas Tegangan Beton} = 0,75 \times \left(\frac{267117}{450 \times 637,5} \right) + 0,66 \sqrt{30} = 4,313 \text{ Mpa} \geq 1,747 \text{ Mpa} \rightarrow \mathbf{OK!}$$

- **Penulangan Transversal Torsi**

$$\text{Kaki Tumpuan} = 2$$

$$\text{Kaki Lapangan} = 2$$

$$\text{Spasi Tumpuan} = 100 \text{ mm}$$

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

$$\text{Spasi max 1} = \frac{1928}{2} = 241 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{minimum}$$

$$\text{Spasi max 2} = 300 \text{ mm (Syarat SNI)}$$

$$\text{Cek Spasi Tumpuan} = 100 \leq 241 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK!}$$

$$\text{Cek Spasi Lapangan} = 150 \leq 241 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK!}$$

$$A_{v+t}/s \text{ Tumpuan Pasang} = \frac{2\pi}{4} \times \frac{13^2}{100} = 2,655 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{v+t}/s \text{ Lapangan Pasang} = \frac{2\pi}{4} \times \frac{13^2}{150} = 1,770 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_t / s = \frac{58482927}{2 \times 0,75 \times 184194 \times 420} = 0,504 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$A_v/s \text{ Tumpuan Perlu} = \frac{(295062-26)}{(420 \times 637,5)} = 0,401 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$A_v/s \text{ Lapangan Perlu} = \frac{\frac{182942,9}{0,75} - 267117}{420 \times 637,5} = -0,087 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$A_{v+t} \text{ Tumpuan Perlu} = 2 \times 0,504 + 0,401 = 1,112 \rightarrow \text{maksimum}$$

$$A_{v+t} \text{ Tumpuan Perlu} = 2 \times 0,504 + (-0,087) = 0,921$$

$$A_{v+t}/\text{Spasi min 1} = 0,062 \times \sqrt{30} \times \frac{450}{420} = 0,364$$

$$A_{v+t}/\text{Spasi min 2} = 0,35 \times \frac{450}{420} = 0,375$$

$$\text{Cek Geser + Torsi Tumpuan} = 2,655 \geq 1,112 \text{ mm}^2 / \text{mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$\text{Cek Geser + Torsi Lapangan} = 1,770 \geq 1,112 \text{ mm}^2 / \text{mm} \rightarrow \text{OK!}$$

K. Design Penulangan Longitudinal Torsi

- Diameter Tulangan = 16 mm
- **Penulangan Longitudinal Torsi**

$$\text{Spasi Min} = 0,042 \times 150 = 6,3 < 16 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$A_l = 0,504 \times 1928 = 971,672 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{maksimum}$$

$$A_l \text{ min} = \frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 315000}{420} - 0,504 \times 1928 = 753,654 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Tumpuan} = 971,672 + 1318,292 + 723,194 = 3013,158 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Lapangan} = 971,672 + 4289,274 + 705,858 = 2995,804 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan : } n \text{ Tumpuan Tengah} = 4$$

$$n \text{ Lapangan Tengah} = 2$$

- **Pengecekan**

Cek Spasi Tulangan

$$\text{Spasi Horizontal Tumpuan} = \frac{450 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 19}{4 - 1} = 108 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Vertikal Tumpuan} = \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 1}{4 - 1} = 192 \text{ mm} < 300$$

$$\text{mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$\text{Spasi Horizontal Lapangan} = \frac{450 - 2 \times 40 - 2 \times 13}{4 - 1} = 84 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Vertikal Lapangan} = \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 1}{3 - 1} = 188 \text{ mm} < 300$$

mm → **OK!**

Cek Lentur dan Torsi

$$\text{Tumpuan} = A_s + A_l = (6 + 4) \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 + 4 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 3639,535 \geq 3013,158 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK!}$$

$$\text{Lapangan} = A_s + A_l = (6 + 4) \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 + 2 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 3237,411 \geq 2995,804 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK!}$$

2.6.2 Balok Anak (350 x 400)

Balok anak merupakan komponen horizontal dalam struktur gedung yang berfungsi sebagai perantara. Balok ini menyalurkan beban dari pelat lantai ke balok utama (balok induk) yang kemudian akan meneruskan beban tersebut ke kolom-kolom. Perhitungan balok anak dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung) dengan tujuan memastikan bahwa balok anak memiliki kekuatan, keamanan, dan kinerja yang memadai dalam menopang beban yang diterimanya.

A. Data Umum Balok

- Lebar Balok (b) = 350 mm
- Tinggi Balok (h) = 400 mm
- Diameter Tulangan Longitudinal = 19 mm
- Diameter Tulangan Pinggang = 13 mm
- Diameter Tulangan Sengkang = 10 mm
- Selimut Bersih = 40 mm
- Tinggi Efektif Balok (d) = 340,5 mm
- Kuat Tekan Beton, f_c' 30 = MPa
- Kuat Leleh Tul. Longitudinal (f_y) = 420 MPa
- Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv} = 420 MPa
- β_1 = 0,8357

- λ

$$= 1$$

B. Output Gaya Dalam Pada Software Etabs

Tabel 2. 32 Gaya Dalam Balok Anak

Gaya Dalam		
$M_{u,tumpuan} (-)$	-142.728	kN-m
$M_{u,tumpuan} (+)$	132.3989	kN-m
$M_{u,lapangan} (-)$	-96.0056	kN-m
$M_{u,lapangan} (+)$	91.9908	kN-m

Gaya Dalam		
$V_{u,tumpuan}$	143.1257	kN
$V_{u,lapangan}$	131.3957	kN

T_u	4,312	kN m
-------	-------	------

C. Design Penulangan Tumpuan Lentur Negatif

- Jumlah Tumpuan Negatif (n) = 5

- **Cek Jarak Bersih**

$$= \frac{(350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 19)}{5 - 1} = 38,750 \geq 19 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Minimum**

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 19^2 \times 5 = 1417,644 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 1} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} - 350 \times 340,5 = 388,541 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ Min } 2} = \frac{1,4}{4 \times 420} - 350 \times 340,5 = 397,250 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Pasang} > A_s \text{ Min } 2 \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Kapasitas Lentur**

$$a = \frac{1417,644 \times 420}{(0,85 \times 30 \times 350)} = 66,713 \text{ mm}$$

$$M_n = (1417,644 \times 420) \times \frac{(340,5 - \frac{66,713}{2})}{10^6} = 182,877 \text{ kNm}$$

$$c = \frac{66,71}{0,8357} = 79,827 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{340,5 - 79,827}{79,827 \times 0,003} = 0,010$$

$$\phi \text{ syarat dari SNI} = 0,900$$

$$\phi M_n = 182,877 \times 0,900 = 164,589 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ tumpuan (-)} = 142,728 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n > M_u \text{ Tumpuan (-)} \rightarrow \text{OK!}$$

D. Design Penulangan Tumpuan Lentur Positif

- Jumlah Tumpuan Negatif (n) = 4

- **Cek Jarak Bersih**

$$= \frac{(350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 19)}{4 - 1} = 58 \geq 19 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Minimum**

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 19^2 \times 4 = 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min 1} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 350 \times 340,5 = 388,541 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min 2} = \frac{1,4}{4 \times 420} \times 350 \times 340,5 = 397,250 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Pasang} > A_s \text{ Min 2} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Kapasitas Lentur**

$$a = \frac{1134,115 \times 420}{(0,85 \times 30 \times 350)} = 53,370 \text{ mm}$$

$$M_n = (1134,115 \times 420) \times \frac{(340,5 - \frac{53,370}{2})}{10^6} = 149,479 \text{ kNm}$$

$$c = \frac{53,370}{0,8357} = 63,862 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{340,5 - 63,862}{63,862 \times 0,003} = 0,013$$

$$\phi \text{ syarat dari SNI} = 0,900$$

$$\phi M_n = 149,479 \times 0,900 = 134,531 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ tumpuan (-)} = 132,399 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n > M_u \text{ Tumpuan (+)} \rightarrow \text{OK!}$$

E. Design Penulangan Lapangan Lentur Negatif

- Jumlah Tumpuan Negatif (n) = 3

- **Cek Jarak Bersih**

$$= \frac{(350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19)}{3 - 1} = 96,5 \geq 19 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Minimum**

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 19^2 \times 3 = 850,586 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min } 1} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 350 \times 340,5 = 388,541 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{Min } 2} = \frac{1,4}{4 \times 420} \times 350 \times 340,5 = 397,250 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Pasang} > A_s \text{ Min } 2 \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Kapasitas Lentur**

$$a = \frac{850,586 \times 420}{(0,85 \times 30 \times 350)} = 40,028 \text{ mm}$$

$$M_n = (850,586 \times 420) \times \frac{(340,5 - \frac{40,028}{2})}{10^6} = 114,492 \text{ kNm}$$

$$c = \frac{40,028}{0,8357} = 47,896 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{340,5 - 47,896}{47,896 \times 0,003} = 0,018$$

$$\phi \text{ syarat dari SNI} = 0,900$$

$$\phi M_n = 114,492 \times 0,900 = 103,043 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ tumpuan (-)} = 96,006 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n > M_u \text{ Lapangan (-)} \rightarrow \text{OK!}$$

F. Design Penulangan Lapangan Lentur Negatif

- Jumlah Tumpuan Negatif (n) = 3

- **Cek Jarak Bersih**

$$\frac{(350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19)}{3 - 1} = 96,5 \geq 19 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Minimum**

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 19^2 \times 3 = 850,586 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{Min } 1} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 350 \times 340,5 = 388,541 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{Min } 2} = \frac{1,4}{4 \times 420} \times 350 \times 340,5 = 397,250 \text{ mm}^2$$

$A_s \text{ Pasang} > A_s \text{ Min } 2 \rightarrow \text{OK!}$

- **Cek Kapasitas Lentur**

$$a = \frac{850,586 \times 420}{(0,85 \times 30 \times 350)} = 40,028 \text{ mm}$$

$$M_n = (850,586 \times 420) \times \frac{(340,5 - \frac{40,028}{2})}{10^6} = 114,492 \text{ kNm}$$

$$c = \frac{40,028}{0,8357} = 47,896 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{340,5 - 47,896}{47,896 \times 0,003} = 0,018$$

ϕ syarat dari SNI = 0,900

$$\phi M_n = 114,492 \times 0,900 = 103,043 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ Lapangan (+)} = 91,991 \text{ kN/m}$$

$\phi M_n > M_u \text{ Lapangan (-)} \rightarrow \text{OK!}$

G. Design Tulangan Geser Tumpuan

$$\text{Jumlah Kaki (n)} = 2$$

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

- **Batas Penentu Spasi Max** = $0,33 \times \sqrt{30} \times 350 \times 340,5 = 215406,9581 \text{ N}$

- **Cek Spasi**

$$\text{Spasi}_{\text{Max } 1} = \frac{340,5}{2} = 170,25 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi}_{\text{Max } 2} = 600 \text{ mm}$$

- **Cek Luas per Spasi**

$$\text{Luas per Spasi} = \frac{157,080}{150} = 1,047 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Luas per Spasi Minimum 1} = \frac{0,0062 \times \sqrt{30} \times 350}{420} = 0,0283 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Luas per Spasi Minimum 2} = \frac{0,35 \times 350}{420} = 0,292 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Luas per Spasi} \geq \text{Luas per Spasi Minimum 2} \rightarrow 1,047 \geq 0,292 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- **Cek Kapasitas Geser**

$$A_v = \frac{2\pi}{4 \times 10^2} = 157,080 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{157,080 \times 420 \times 340,5}{150} = 149760 \text{ N}$$

$$\text{Batas } V_s = 0,66 \times \sqrt{30} \times 350 \times 340,5 = 430814 \text{ N}$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 340,5 = 110967 \text{ N}$$

$$\phi \text{ Syarat dari SNI} = 0,75$$

$$V_n = 110967 + 149760 = 260727 \text{ N}$$

$$V_u = 143126 \text{ N}$$

$$\phi V_n / V_u = \frac{0,75 \times 260727}{143126} = 1,366 > 1 \rightarrow \text{OK!}$$

H. Design Tulangan Geser Lapangan

$$\text{Jumlah Kaki (n)} = 2$$

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

- **Batas Penentu Spasi Max** = $0,33 \times \sqrt{30} \times 350 \times 340,5 = 215406,9581 \text{ N}$

- **Cek Spasi**

$$\text{Spasi}_{\text{Max 1}} = \frac{340,5}{2} = 170,25 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi}_{\text{Max 2}} = 600 \text{ mm}$$

- **Cek Luas per Spasi**

$$\text{Luas per Spasi} = \frac{157,080}{150} = 1,047 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Luas per Spasi Minimum 1} = \frac{0,0062 \times \sqrt{30} \times 350}{420} = 0,0283 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Luas per Spasi Minimum 2} = \frac{0,35 \times 350}{420} = 0,292 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Luas per Spasi $\geq$ Luas per Spasi Minimum $2 \rightarrow 1,047 \geq 0,292 \text{ mm}^2/\text{mm}$

- **Cek Kapasitas Geser**

$$A_v = \frac{2\pi}{4 \times 10^2} = 157,080 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{157,080 \times 420 \times 340,5}{150} = 149760 \text{ N}$$

$$\text{Batas } V_s = 0,66 \times \sqrt{30} \times 350 \times 340,5 = 430814 \text{ N}$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 340,5 = 110967 \text{ N}$$

ϕ Syarat dari SNI = 0,75

$$V_n = 110967 + 149760 = 260727 \text{ N}$$

$$V_u = 131395,7 \text{ N}$$

$$\phi V_n / V_u = \frac{0,75 \times 260727}{131395,7} = 1,488 > 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Design Penulangan Torsi

- **Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi**

$$A_{cp} = 350 \times 400 = 140000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (350 + 400) = 1500 \text{ mm}$$

$$x_o = 350 - 2 \times 40 - 10 = 260 \text{ mm}$$

$$y_o = 400 - 2 \times 40 - 10 = 310 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = 260 \times 310 = 80600 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times 80600 = 68510 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (260 + 310) = 1140 \text{ mm}$$

- **Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi**

$$T_u = 4,312 \times 10^6 = 4312000 \text{ Nmm}$$

$$T_{cr} = \frac{0,33 \times \sqrt{30} \times 140000^2}{1500} = 23617797 \text{ Nmm}$$

ϕ Syarat dari SNI = 0,75

$$\phi T_{cr} / 4 = \frac{0,75 \times 23617797}{4} = 4428337 \geq T_u \text{ maka Tidak dibutuhkan}$$

Tulangan Torsi

2.6.3 Rekapitulasi Tulangan Balok

- **Balok B1 (450 x 700)**

Tabel 2. 33 Detail Penulangan Balok B1

Tulangan Longitudinal Balok B1 (450 x 700)	
Longitudinal Tumpuan Atas	6 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	4 D16
Longitudinal Tumpuan Bawah	4 D19
Longitudinal Lapangan Atas	6 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D16
Longitudinal Lapangan Bawah	4 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D13-100
Sengkang Lapangan	2D13-150

- **Balok B1a (450 x 700)**

Tabel 2. 34 Detail Penulangan Balok B1a

Tulangan Longitudinal Balok B1a (450 x 700)	
Longitudinal Tumpuan Atas	4 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	4 D16
Longitudinal Tumpuan Bawah	4 D19
Longitudinal Lapangan Atas	4 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D16
Longitudinal Lapangan Bawah	4 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D13-100
Sengkang Lapangan	2D13-150

- **Balok B1b (450 x 700)**

Tabel 2. 35 Detail Penulangan Balok B1b

Tulangan Longitudinal Balok B1b (450 x 700)	
Longitudinal Tumpuan Atas	5 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	4 D16
Longitudinal Tumpuan Bawah	5 D19
Longitudinal Lapangan Atas	4 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D16
Longitudinal Lapangan Bawah	4 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D13-100
Sengkang Lapangan	2D13-150

- **Balok B2 (400 x 600)**

Tabel 2. 36 Detail Penulangan Balok B2

Tulangan Longitudinal Balok B2 (400 x 600)	
Longitudinal Tumpuan Atas	5 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D16
Longitudinal Tumpuan Bawah	4 D19
Longitudinal Lapangan Atas	5 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D16
Longitudinal Lapangan Bawah	4 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D13-100
Sengkang Lapangan	2D13-150

- **Balok B2a (400 x 600)**

Tabel 2. 37 Detail Penulangan Balok B2a

Tulangan Longitudinal Balok B2a (400 x 600)	
Longitudinal Tumpuan Atas	4 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D16
Longitudinal Tumpuan Bawah	5 D19
Longitudinal Lapangan Atas	4 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D16
Longitudinal Lapangan Bawah	5 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D13-100
Sengkang Lapangan	2D13-150

- **Balok B2b (400 x 600)**

Tabel 2. 38 Detail Penulangan Balok B2b

Tulangan Longitudinal Balok B2b (400 x 600)	
Longitudinal Tumpuan Atas	4 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D16
Longitudinal Tumpuan Bawah	4 D19
Longitudinal Lapangan Atas	4 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D16
Longitudinal Lapangan Bawah	4 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D13-100
Sengkang Lapangan	2D13-150

2.6.4 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak

- **Balok Anak Ba1 (350x400)**

Tabel 2. 39 Detail Penulangan Balok BA1

Tulangan Longitudinal Balok Anak Ba1 (350 x 400)	
Longitudinal Tumpuan Atas	5 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	-
Longitudinal Tumpuan Bawah	4 D19
Longitudinal Lapangan Atas	5 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	-
Longitudinal Lapangan Bawah	4 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D10-150
Sengkang Lapangan	2D10-150

- **Balok Anak Ba2 (350x400)**

Tabel 2. 40 Detail Penulangan Balok BA2

Tulangan Longitudinal Balok Anak Ba2 (350 x 400)	
Longitudinal Tumpuan Atas	5 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	-
Longitudinal Tumpuan Bawah	4 D19
Longitudinal Lapangan Atas	3 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	-
Longitudinal Lapangan Bawah	3 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D10-150
Sengkang Lapangan	2D10-150

- **Balok Anak Ba3 (350x400)**

Tabel 2. 41 Detail Penulangan Balok BA3

Tulangan Longitudinal Balok Anak Ba3 (350 x 400)	
Longitudinal Tumpuan Atas	3 D16
Longitudinal Tumpuan Tengah	-
Longitudinal Tumpuan Bawah	3 D16
Longitudinal Lapangan Atas	3 D16
Longitudinal Lapangan Tengah	-
Longitudinal Lapangan Bawah	3 D16
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D10-150
Sengkang Lapangan	2D10-150

2.7 Analisis Struktur Kolom SRPMK

Kolom adalah elemen struktural vertikal dalam struktur bangunan sebagai penopang utama. Dalam perhitungan struktur kolom digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai dengan standar yang berlaku, yaitu SNI 2847:2019 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung) karena Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dirancang untuk menyediakan daktilitas yang memadai sehingga menjamin kinerja struktur optimal saat menghadapi beban lateral, terutama beban gempa. Perhitungan ini dilakukan untuk memastikan kolom mampu menahan kombinasi beban aksial (tekan), momen lentur dan gaya geser yang timbul akibat beban gravitasi (beban hidup dan beban mati) serta beban lateral.

2.7.1 Kolom 600 x 800

A. Data Umum Kolom

- Panjang/Tinggi Kolom (L) = 3900 mm

- Sisi Pendek Kolom (b) = 600 mm
- Sisi Panjang Kolom (h) = 800 mm
- Diameter Tulangan Longitudinal (db) = 25 mm
- Diameter Tulangan Sengkang (ds) = 13 mm
- Selimut Bersih (cc) = 40 mm
- Kuat Tekan Beton f'_c = 30 MPa
- Kuat Leleh Tul. Longitudinal (f_y) = 420 MPa
- Kuat Leleh Tul. Transversal (f_{yv}) = 420 MPa
- Tinggi Balok (hb) = 700 mm
- L_n = 3200 mm

B. Output Gaya Dalam pada Software Etabs

Tabel 2. 42 Gaya Dalam Kolom

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	583.308	32.007	65.538
P min	-1838.923	-148.416	-427.752
M2 Max	-1032.030	365.917	153.335
M2 Min	-791.486	-343.209	-133.209
M3 Max	-666.049	90.453	592.647
M3 Min	-1684.019	-153.698	-600.259

Geser	
Tumpuan	
V2 (kN)	209.808
V3 (kN)	149.296
Lapangan	
V2 (kN)	209.808
V3 (kN)	149.296

Gaya Tekan Terkecil	
Nu (kN)	0.62

C. Syarat Gaya dan Geometri

- $P_u > 0,1 \times A_g \times f'_c$
 $1838,923 \times 10^3 > 0,1 \times 600 \times 800 \times 30 \rightarrow \text{OK!}$
 $1838923 > 1440000 \rightarrow \text{OK!}$
- $b \geq 300 \text{ mm}$

$$600 \geq 300 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$\bullet \frac{b}{h} \geq 0,4$$

$$\frac{600}{800} \geq 0,4 \rightarrow 0,75 \geq 0,4 \rightarrow \text{OK!}$$

D. Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur dengan SPColumn

- Jumlah Tulangan (n) = 20

- Luas Tulangan Longitudinal (As)

$$\frac{20 \times \pi}{4 \times 25^2} = 9817,5 \text{ mm}^2$$

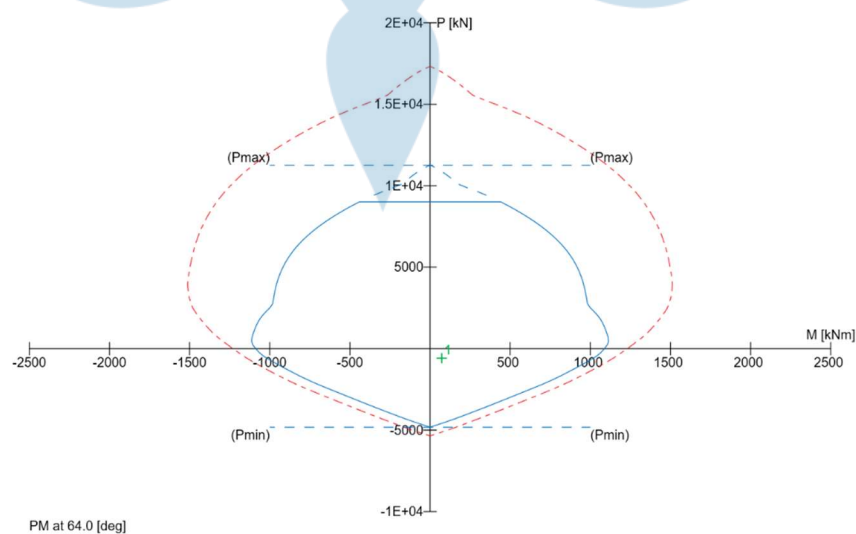
- Rasio Tulangan (ρ)

$$= \frac{9817,5}{(500 \times 800)} = 2,05\% > 1\% \text{ dan } < 6\% \rightarrow \text{OK!}$$

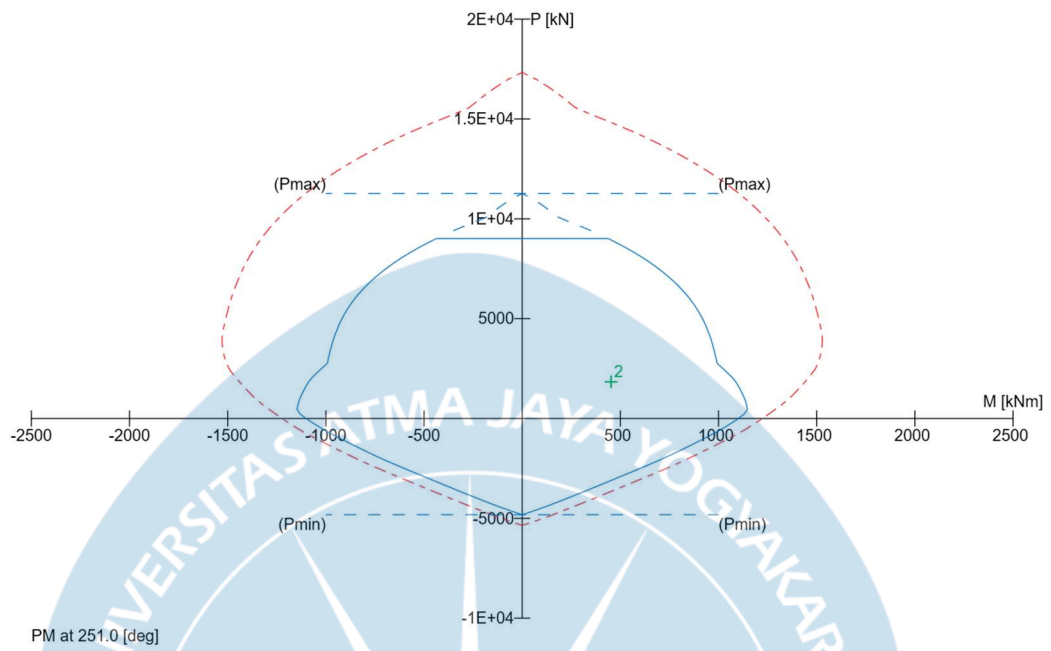
Tabel 2. 43 Tabel Beban dan Momen Terfaktor dengan Kapasitas Rasio

No.	Demand			Capacity			Parameters at Capacity			Capacity Ratio	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}
	P_u kN	M_{ux} kNm	M_{uy} kNm	ϕP_n kN	ϕM_{nx} kNm	ϕM_{ny} kNm	NA Depth mm	ϵ_t	ϕ			
1	-583.31	32.01	65.54	-2515.58	252.06	516.12	111	0.01532	0.900	0.41	280.066667	573.467
2	1838.92	-148.42	-427.75	3622.74	-338.79	-976.44	407	0.00205	0.650	0.48	-521.215385	-1502.2
3	1032.03	365.92	-133.21	3622.74	1179.14	-429.26	542	0.00204	0.650	0.33	1814.06154	-660.4
4	791.49	-343.21	-133.21	3396.32	-1172.64	-455.13	529	0.00216	0.655	0.31	-1790.29008	-694.85
5	666.05	90.45	592.65	0.00	161.86	1060.50	166	0.00803	0.900	0.62	179.844444	1178.33
6	1684.02	-153.70	-600.26	3622.74	-259.30	-1012.67	387	0.00205	0.650	0.59	-398.923077	-1558

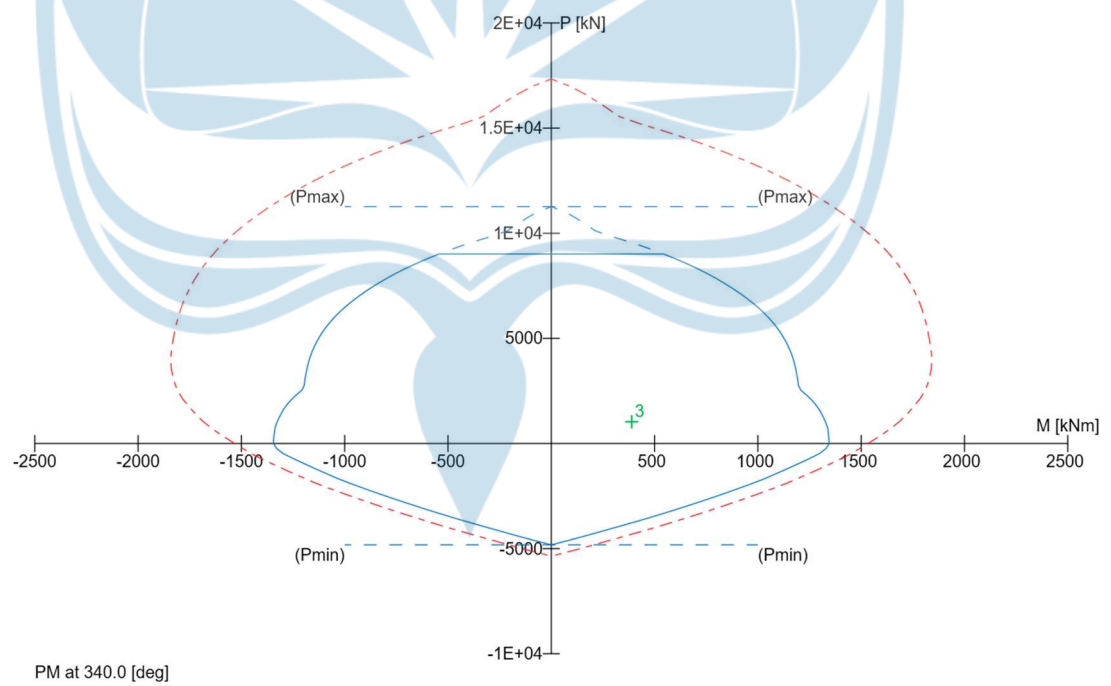
E. Grafik PM pada SPColumn



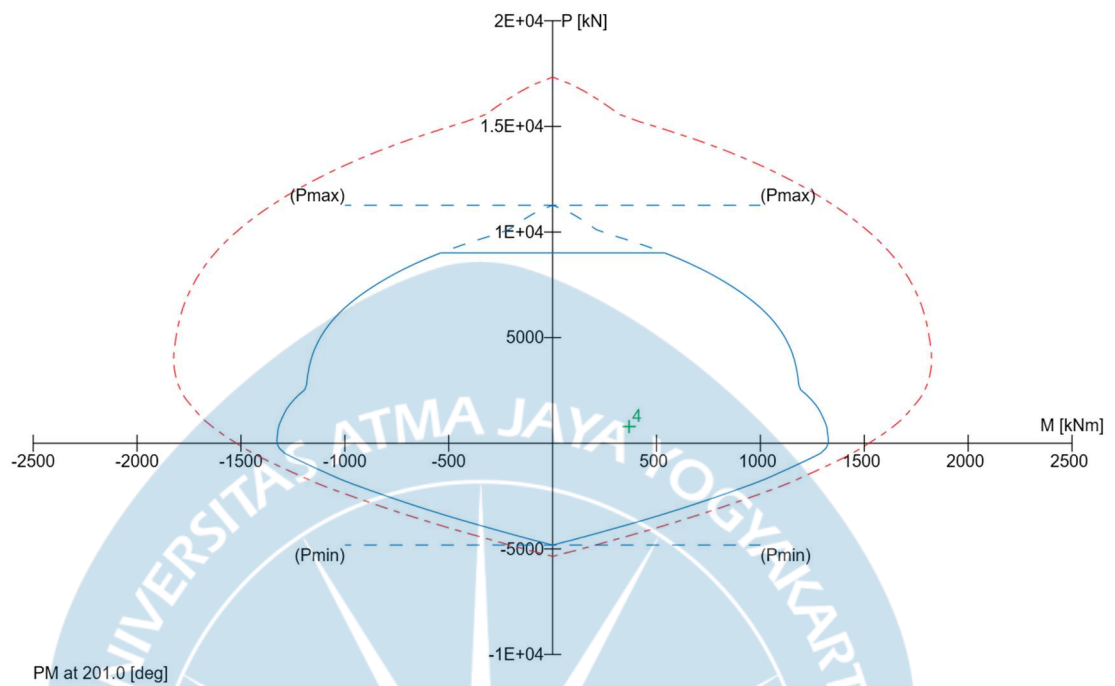
Gambar 2. 10 Grafik PM 1 pada SPColumn



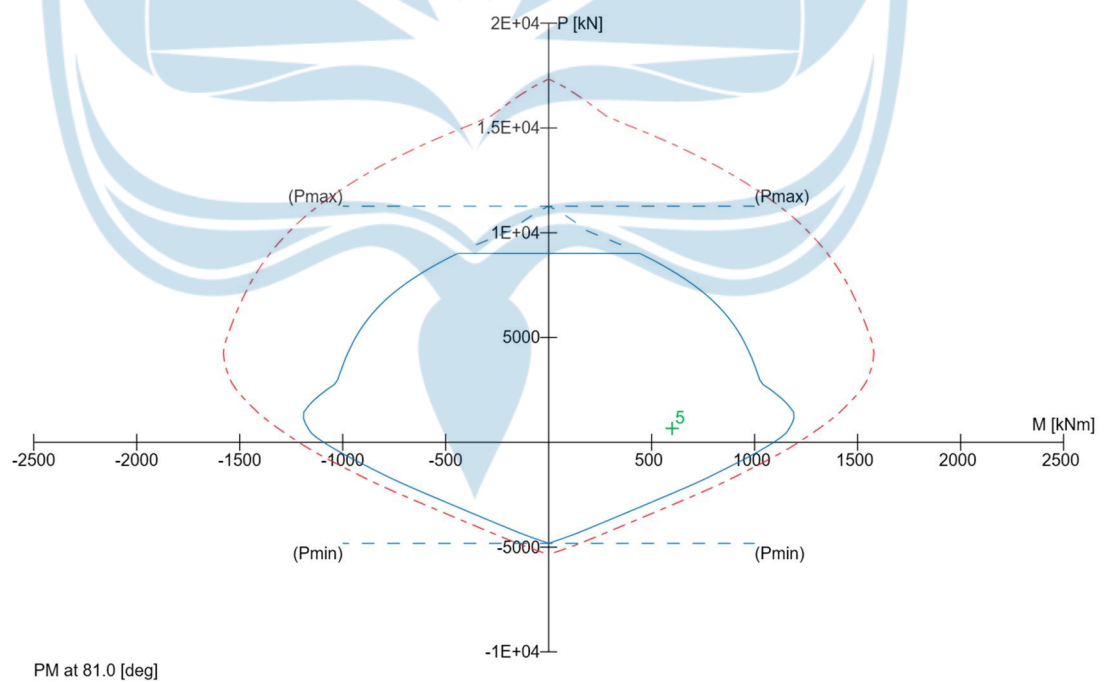
Gambar 2. 11 Grafik PM 2 pada SPColumn



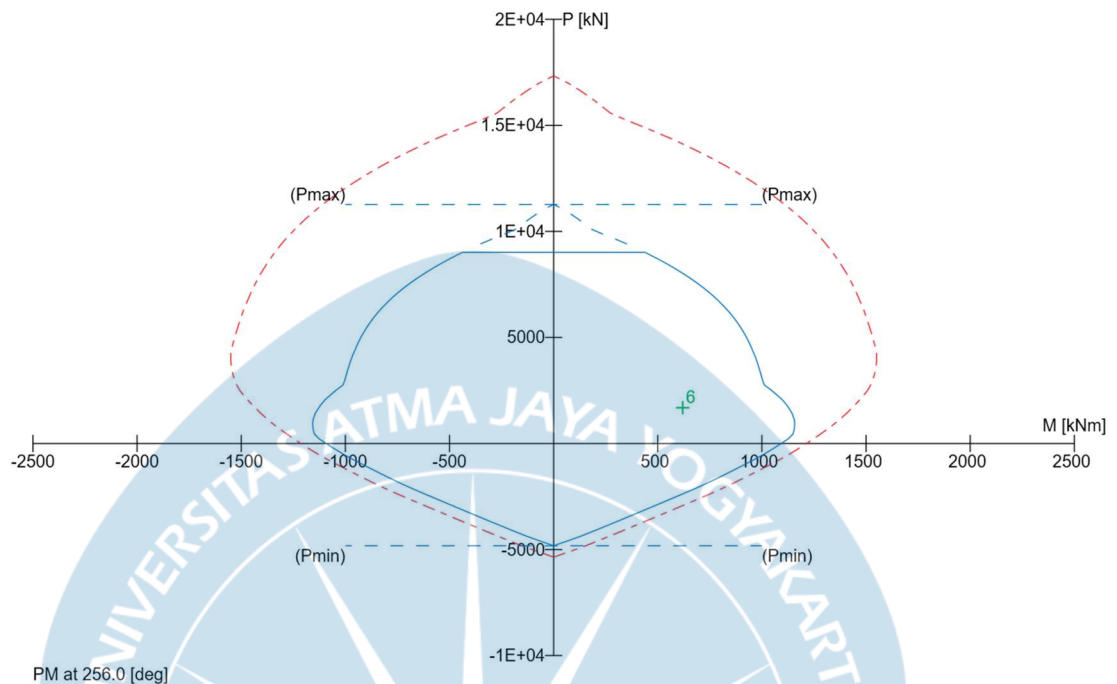
Gambar 2. 12 Grafik PM 3 pada SPColumn



Gambar 2. 13 Grafik PM 4 pada SPColumn



Gambar 2. 14 Grafik PM 5 pada SPColumn



Gambar 2. 15 Grafik PM 6 pada SPColumn

F. Pengecekan Strong Column – Weak Beam

- Momen Nominal Kolom = 179,8555 kN/m
- $M_n (-)$ Tumpuan Balok = -312,9171 kN/m
- $M_n (+)$ Tumpuan Balok = 290,7379 kN/m
- Cek SCWB

$$2 \times M_{nc} \geq 1,2 \times (M_n^- + M_n^+)$$

$$2 \times 179,8444 \geq 1,2 \times (-312,9171 + 290,7379)$$

$$359,6888 \geq -26,6150 \rightarrow \text{OK!}$$

G. Design Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis / Tumpuan

- Panjang Zona Sendi Plastis

$$l_{o1} = h = 800$$

$$l_{o2} = \frac{L_n}{6} = \frac{3200}{6} = 533,3$$

$$l_{o3} = 450 \text{ mm}$$

$$l_o = 800$$

- Jumlah Kaki Sisi Pendek = 3
- Jumlah Kaki Sisi Panjang = 4
- Spasi = 100
- Spasi Kaki Terbesar = 300
- $A_{sh1} = \frac{3 \times \pi}{4 \times 13^2} = 398,197 \text{ mm}^2$
- $A_{sh2} = \frac{4 \times \pi}{4 \times 13^2} = 530,929 \text{ mm}^2$
- $A_{sh/s1} = \frac{398,197}{100} = 3,982 \text{ mm}^2/\text{mm}$
- $A_{sh/s2} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$

H. Kekangan Zona Sendi Plastis

$$\text{Lebar Penampang Inti Beton (b}_c\text{)} = 600 - 2 \times 40 = 520 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang Penampang Inti Beton (h}_c\text{)} = 800 - 2 \times 40 = 720 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Penampang Inti Kolom (A}_g\text{)} = 600 \times 800 = 480000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas Penampang Inti Beton (A}_{ch}\text{)} = 520 \times 720 = 374400 \text{ mm}^2$$

- **Sisi Pendek**

$$A_{sh/s \text{ min } 1} = 0,3 \times \left(520 \times \frac{30}{420} \right) \times \left(\frac{480000}{374400} - 1 \right) = 3,143 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh/s \text{ min } 2} = \frac{0,09 \times 520 \times 30}{420} = 3,343 \text{ mm}^2 < 3,982 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow$$

OK!

- **Sisi Panjang**

$$A_{sh/s \text{ min } 1} = 0,3 \times \left(720 \times \frac{30}{420} \right) \times \left(\frac{480000}{374400} - 1 \right) = 4,352 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh/s \text{ min } 2} = \frac{0,09 \times 720 \times 30}{420} = 4,629 \text{ mm}^2 < 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow$$

OK!

- **Cek Spasi**

$$S_{\max 1} = \frac{b}{4} = \frac{600}{4} = 150 \text{ mm}$$

$$S_{\max 2} = 6 \times db = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$$

$$h_x = 300$$

$$S_{\max 3} = S_o$$

$$\rightarrow 100 \leq 100 + \frac{350-h_x}{3} \leq 150$$

$$\rightarrow 100 \leq 100 + \frac{350-300}{3} \leq 150$$

$$\rightarrow 100 \leq 116,667 \leq 150$$

$$S_{\max} = 116,667$$

$$\text{Cek Spasi} \rightarrow 100 \leq 116,667 \rightarrow \text{OK!}$$

Tabel 2. 44 Tabel Beban dan Momen Terfaktor dengan Kapasitas Rasio

No.	Demand			Capacity			Parameters at Capacity			Capacity Ratio	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}
	P_u kN	M_{ux} kNm	M_{uy} kNm	ϕP_n kN	ϕM_{nx} kNm	ϕM_{ny} kNm	NA Depth mm	ϵ_t	ϕ			
1	-583.31	32.01	65.54	-2095.14	211.76	433.59	103	0.01689	0.900	0.43	235.289	481.767
2	1838.92	-148.42	-427.75	2813.66	-298.22	-859.50	366	0.00260	0.650	0.54	-458.8	-1322.3
3	1032.03	365.92	-133.21	2597.23	1036.95	-377.49	481	0.00268	0.654	0.38	1585.55	-577.2
4	791.49	-343.21	-133.21	2597.23	-1014.68	-393.83	483	0.00265	0.652	0.36	-1556.3	-604.03
5	666.05	90.45	592.65	0.00	136.28	892.91	153	0.00894	0.900	0.71	151.422	992.122
6	1684.02	-153.70	-600.26	2813.66	-229.20	-895.14	345	0.00265	0.652	0.68	-351.53	-1372.9

I. Kuat Geser Zona Sendi Plastis

- **Gaya Geser Desain dari SP Column dengan $f_{pr} = 1,25f_y$**

$$M_{pr} \text{ Kolom} = -1555,258 \text{ kNm}$$

$$V_{u1} = 2 \times \frac{-1556,258}{3200} = -972661 \text{ N}$$

- **Gaya Geser Hasil Analisis Struktur**

$$V_{u2}, \text{ Sumbu Lemah} = 209808 \text{ N}$$

$$V_{u2}, \text{ Sumbu Kuat} = 149296 \text{ N}$$

- **Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah**

$$V_u = 209808 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u \times 10^3}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f'_c} \times h \times \left(b - c_c - d_s - \frac{d_b}{2}\right)$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{0,62 \times 10^3}{14 \times 600 \times 800}\right) \times \sqrt{30} \times 800 \times \left(600 - 40 - 13 - \frac{25}{2}\right)$$

$$= 398187 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{209808}{0,75} - 398187 = -118443 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = \frac{V_s}{f_{yv} \times (b - c_c - d_s - \frac{d_b}{2})} = \frac{-118443}{420 \times (600 - 40 - 13 - \frac{25}{2})} = -0,5276 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = \frac{0,062 \times \sqrt{f_c'} \times h}{f_{yv}} = \frac{0,062 \times \sqrt{30} \times 800}{420} = 0,6468 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times h}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 800}{420} = 0,6667 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow$$

maksimum

$$\text{Cek } A_s/s \rightarrow A_{sh}/s1 \geq 0,6667 \rightarrow 3,982 \geq 0,6667 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat**

$$V_u = 149296 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u \times 10^3}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f_c'} \times h \times (b - c_c - d_s - \frac{d_b}{2})$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{0,62 \times 10^3}{14 \times 600 \times 800}\right) \times \sqrt{30} \times 600 \times \left(800 - 40 - 13 - \frac{25}{2}\right)$$

$$= 410386 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{149296}{0,75} - 410386 = -211325 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = \frac{V_s}{f_{yv} \times (h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2})} = \frac{-211325}{420 \times (800 - 40 - 13 - \frac{25}{2})} = -0,6850 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = \frac{0,062 \times \sqrt{f_c'} \times b}{f_{yv}} = \frac{0,062 \times \sqrt{30} \times 600}{420} = 0,4851 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times b}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 600}{420} = 0,5 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow \text{maksimum}$$

$$\text{Cek } A_s/s \rightarrow A_{sh}/s2 \geq 0,5 \rightarrow 5,309 \geq 0,5 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow \text{OK!}$$

J. Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Lapangan

Jumlah Kaki Sisi Pendek, $n_1 = 3$

Jumlah Kaki Sisi Panjang, $n_2 = 3$

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

$$A_v \text{ Sumbu Lemah} = \frac{n \times \pi}{4} \times d_s^2 = \frac{3 \times \pi}{4} \times 13^2 = 398,197 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ Sumbu Kuat} = \frac{n \times \pi}{4} \times d_s^2 = \frac{3 \times \pi}{4} \times 13^2 = 398,197 \text{ mm}^2$$

K. Kekangan Luar Zona Sendi Plastis

Spasi Maksimum 1 = $6 \times d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$

Spasi Maksimum 2 = 150 mm

Cek Spasi $\rightarrow 150 \leq 150 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$

L. Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis

- Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u = 209808 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u \times 10^3}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f_c'} \times h \times \left(b - c_c - d_s - \frac{d_b}{2}\right) \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{0,62 \times 10^3}{14 \times 600 \times 800}\right) \times \sqrt{30} \times 800 \times \left(600 - 40 - 13 - \frac{25}{2}\right) \\ &= 398187 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{209808}{0,75} - 398187 = -118443 \text{ N} \rightarrow \text{maka dipakai } 0$$

$$\begin{aligned} A_s/s \text{ Perlu} &= \frac{V_s}{f_{yv} \times (b - c_c - d_s - \frac{d_b}{2})} = \frac{0}{420 \times (600 - 40 - 13 - \frac{25}{2})} = -0,5276 \text{ mm}^2 / \\ &\text{mm} \rightarrow 0 \end{aligned}$$

$$A_s/s \text{ Min } 1 = \frac{0,062 \times \sqrt{f_c'} \times h}{f_{yv}} = \frac{0,062 \times \sqrt{30} \times 800}{420} = 0,6468 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow 0$$

$$A_s/s \text{ Min } 2 = \frac{0,35 \times h}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 800}{420} = 0,6667 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow \text{maksimum}$$

$\rightarrow 0$

$$\text{Cek } A_s/s \rightarrow A_{sh}/s1 \geq 0 \rightarrow 3,982 \geq 0 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow \text{OK!}$$

• **Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat**

$$V_u = 149296 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u \times 10^3}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f_c'} \times h \times \left(b - c_c - d_s - \frac{d_b}{2}\right) \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{0,62 \times 10^3}{14 \times 600 \times 800}\right) \times \sqrt{30} \times 600 \times \left(800 - 40 - 13 - \frac{25}{2}\right) \\ &= 410386 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{149296}{0,75} - 410386 = -211325 \text{ N} \rightarrow \text{maka dipakai}$$

0

$$A_s/s \text{ Perlu} = \frac{V_s}{f_{yv} \times \left(h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2}\right)} = \frac{-211325}{420 \times \left(800 - 40 - 13 - \frac{25}{2}\right)} = -0,6850 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$\rightarrow 0$

$$A_s/s \text{ Min } 1 = \frac{0,062 \times \sqrt{f_c'} \times b}{f_{yv}} = \frac{0,062 \times \sqrt{30} \times 600}{420} = 0,4851 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow 0$$

$$A_s/s \text{ Min } 2 = \frac{0,35 \times b}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 600}{420} = 0,5 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow \text{maksimum} \rightarrow 0$$

$$\text{Cek } A_s/s \rightarrow A_{sh}/s2 \geq 0 \rightarrow 5,309 \geq 0 \text{ mm}^2/\text{mm} \rightarrow \text{OK!}$$

2.7.2 Rekapitulasi Tulangan Kolom

- **Kolom K1 (600 x 800)**

Tabel 2. 45 Detail Penulangan Kolom K1

Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	20 D25
Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan	
Sumbu Lemah	3D13-100
Sumbu Kuat	4D13-100
Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	3D13-150
Sumbu Kuat	3D13-150

- **Kolom K2 (500 x 700)**

Tabel 2. 46 Detail Penulangan Kolom K2

Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	16 D25
Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan	
Sumbu Lemah	3D13-100
Sumbu Kuat	4D13-100
Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	3D13-150
Sumbu Kuat	3D13-150

- **Kolom K3 (600 x 600)**

Tabel 2. 47 Detail Penulangan Kolom K3

Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	16 D25
Tulangan Transversal/Senggang Tumpuan	
Sumbu Lemah	3D13-100
Sumbu Kuat	3D13-100
Tulangan Transversal/Senggang Lapangan	
Sumbu Lemah	3D13-150
Sumbu Kuat	3D13-150

- **Kolom K4 (400 x 400)**

Tabel 2. 48 Detail Penulangan Kolom K4

Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	12 D25
Tulangan Transversal/Senggang Tumpuan	
Sumbu Lemah	3D13-100
Sumbu Kuat	3D13-100
Tulangan Transversal/Senggang Lapangan	
Sumbu Lemah	3D13-150
Sumbu Kuat	3D13-150

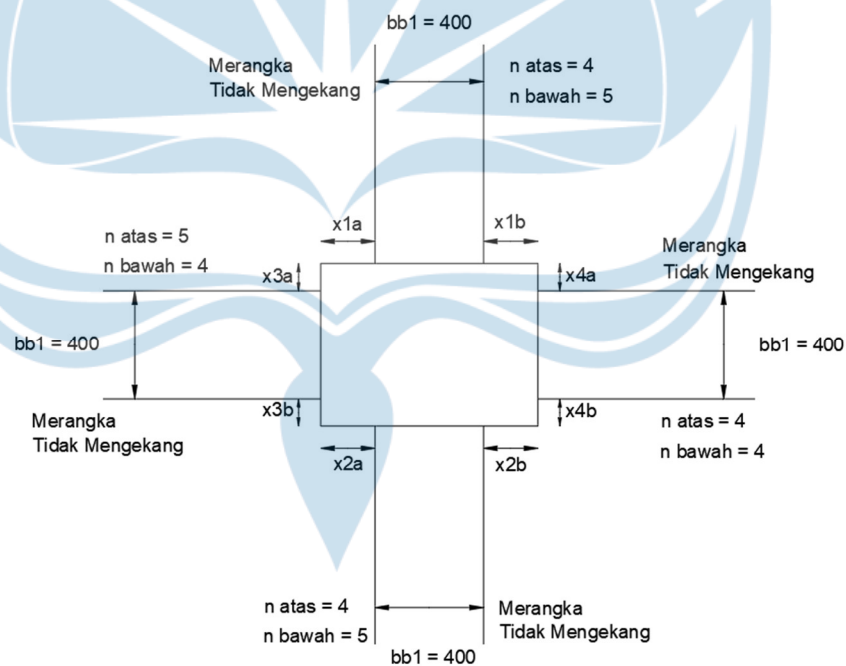
2.8 Analisis Joint Hubungan Balok Kolom

Desain sambungan balok-kolom adalah bagian krusial pada struktur gedung, terutama jika menggunakan Sistem Rangka Peikul Momen Khusus (SRPMK). Sambungan ini sangat penting dalam konstruksi bangunan tahan gempa karena menjadi titik pertemuan dan penyaluran gaya. Kemampuan sambungan ini untuk menahan dan mendistribusikan gaya dengan aman, terutama saat terjadi gempa kuat, sangat memengaruhi daktilitas (kemampuan struktur untuk berdeformasi tanpa kehilangan kekuatan seara signifikan) keseluruhan struktur. Analisis ini

mengacu pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

A. Material dan Penampang

- Lebar Y Kolom (b) = 600 mm
- Lebay X Kolom (h) = 600 mm
- Panjang Kolom (L) = 3900 mm
- Kuat Tekan Beton (f'_c) = 30 MPa
- Kuat Leleh Baja Tulangan (f_y) = 420 MPa
- Faktor Beton Ringan (λ) = 1
- Tinggi Balok Terbesar (h_b) = 600 mm
- Panjang Bersih Kolom (L_n) = 3300 mm



Gambar 2. 16 Data Hubungan Balok Kolom

B. Data Lebar dan Eksentrisitas Balok

- NJKN Lebar Balok 1 ($bb1$) = 400 mm
- Lebar Balok 2 ($bb2$) = 400 mm
- Lebar Balok 3 ($bb3$) = 400 mm

- Lebar Balok 4 (bb_4) = 400 mm

- Cek Lebar Sisi Kolom

$$x_{1a} = \frac{h-bb_1}{2} = \frac{600-400}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$x_{1b} = \frac{h-bb_1}{2} = \frac{600-4}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Lebar Sisi 1 Kolom} = bb_1 + x_{1a} + x_{1b} = 400 + 100 + 100 = 600$$

$$\rightarrow 600 = h \rightarrow \text{OK!}$$

$$x_{2a} = \frac{h-bb_2}{2} = \frac{600-400}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$x_{2b} = \frac{h-bb_2}{2} = \frac{600-400}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Lebar Sisi 2 Kolom} = bb_2 + x_{2a} + x_{2b} = 400 + 100 + 100 = 600$$

$$\rightarrow 600 = h \rightarrow \text{OK!}$$

$$x_{3a} = \frac{h-bb_3}{2} = \frac{600-4}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$x_{3b} = \frac{h-bb_3}{2} = \frac{600-400}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Lebar Sisi 3 Kolom} = bb_3 + x_{3a} + x_{3b} = 400 + 100 + 100 = 600$$

$$\rightarrow 600 = h \rightarrow \text{OK!}$$

$$x_{4a} = \frac{h-bb_4}{2} = \frac{600-4}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$x_{4b} = \frac{h-bb_4}{2} = \frac{600-400}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Lebar Sisi 4 Kolom} = bb_4 + x_{4a} + x_{4b} = 400 + 100 + 100 = 600$$

$$\rightarrow 600 = h \rightarrow \text{OK!}$$

C. Data dan Gaya Tulangan Balok

Diameter Tulangan Utama Balok (d_b) = 19 mm

Cek Dimensi Kolom = $b \geq 20 \times d_b = 600 \geq 20 \times 19 = 600 \geq 380 \rightarrow \text{OK!}$

Tulangan Atas Balok 1 = 4 buah

$$A_s^{-1} = \frac{n \times \pi}{4} \times d_b^2 = \frac{4 \times \pi}{4} \times 19^2 = 1134,115 \text{ mm}^2$$

Tulangan Bawah Balok 1 = 5 buah

$$A_s^{+1} = \frac{n \times \pi}{4} \times d_b^2 = \frac{5 \times \pi}{4} \times 19^2 = 1417,644 \text{ mm}^2$$

Tulangan Atas Balok 2 = 4 buah

$$A_s^{-1} = \frac{n \times \pi}{4} \times d_b^2 = \frac{4 \times \pi}{4} \times 19^2 = 1134,115 \text{ mm}^2$$

Tulangan Bawah Balok 2 = 5 buah

$$A_s^{+1} = \frac{n \times \pi}{4} \times d_b^2 = \frac{5 \times \pi}{4} \times 19^2 = 1417,644 \text{ mm}^2$$

Tulangan Atas Balok 3 = 5 buah

$$A_s^{-1} = \frac{n \times \pi}{4} \times d_b^2 = \frac{4 \times \pi}{4} \times 19^2 = 1417,644 \text{ mm}^2$$

Tulangan Bawah Balok 3 = 4 buah

$$A_s^{+1} = \frac{n \times \pi}{4} \times d_b^2 = \frac{5 \times \pi}{4} \times 19^2 = 1134,115 \text{ mm}^2$$

Tulangan Atas Balok 4 = 4 buah

$$A_s^{-1} = \frac{n \times \pi}{4} \times d_b^2 = \frac{4 \times \pi}{4} \times 19^2 = 1134,115 \text{ mm}^2$$

Tulangan Bawah Balok 4 = 4 buah

$$A_s^{+1} = \frac{n \times \pi}{4} \times d_b^2 = \frac{5 \times \pi}{4} \times 19^2 = 1134,115 \text{ mm}^2$$

Tegangan Probable tulangan fpr

$$= 1,25 \times f_y = 1,25 \times 420 = 525 \text{ MPa}$$

Gaya Tulangan Atas Balok 1

$$F_s^{-1} A_s \times f_{pr} = 1134,115 \times 525 = 595410 \text{ N}$$

Gaya Tulangan Atas Balok 1

$$F_s^{+1} A_s \times f_{pr} = 1417,644 \times 525 = 744263 \text{ N}$$

Gaya Tulangan Atas Balok 2

$$F_s^{-1} A_s \times f_{pr} = 1134,115 \times 525 = 595410 \text{ N}$$

Gaya Tulangan Atas Balok 2

$$F_s^{+1} A_s \times f_{pr} = 1417,644 \times 525 = 744263 \text{ N}$$

Gaya Tulangan Atas Balok 3

$$F_s^{-1} A_s \times f_{pr} = 1134,115 \times 525 = 744263 \text{ N}$$

Gaya Tulangan Atas Balok 3

$$F_s^+ 1 A_s \times f_{pr} = 1417,644 \times 525 = 595410 \text{ N}$$

Gaya Tulangan Atas Balok 4

$$F_s^- 1 A_s \times f_{pr} = 1134,115 \times 525 = 595410 \text{ N}$$

Gaya Tulangan Atas Balok 4

$$F_s^+ 1 A_s \times f_{pr} = 1417,644 \times 525 = 595410 \text{ N}$$

D. Gaya Geser Akibat Balok

Geser Ketika Arah Gempa X-

$$= F_s^- 3 + F_s^+ 4 = 595410 + 744263 = 1339673 \text{ N}$$

Geser Ketika Arah Gempa X+

$$= F_s^- 4 + F_s^+ 3 = 595410 + 596410 = 1190821 \text{ N}$$

Geser Ketika Arah Gempa Y-

$$= F_s^- 1 + F_s^+ 2 = 595410 + 744263 = 1339673 \text{ N}$$

Geser Ketika Arah Gempa Y+

$$= 2 + F_s^+ 1 = 595410 + 744263 = 1339673 \text{ N}$$

E. Gaya Geser Kolom (Beam Hinging)

$$M_{pr}^- \text{ Balok 1} = 306130572 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^+ \text{ Balok 1} = 378318688 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^- \text{ Balok 2} = 306130572 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^+ \text{ Balok 2} = 378318688 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^- \text{ Balok 3} = 306130572 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^+ \text{ Balok 3} = 378318688 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^- \text{ Balok 4} = 306130572 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^+ \text{ Balok 4} = 378318688 \text{ Nmm}$$

$$V_e \text{ Balok 1} = 343090 \text{ N}$$

$$V_e \text{ Balok 2} = 343090 \text{ N}$$

$$V_e \text{ Balok 3} = 343090 \text{ N}$$

$$V_e \text{ Balok 4} = 343090 \text{ N}$$

Geser Kolom Ketika Arah Gempa X-

$$\begin{aligned}
&= \frac{(M_{pr}^{+4} + M_{pr}^{-3}) + V_e 3 + V_e 4) \times \frac{h}{2}}{L_n} \\
&= \frac{(378318688 + 306130572) + (343090 + 343090) \times \frac{600}{2}}{3300} \\
&= 269789 \text{ N}
\end{aligned}$$

Geser Kolom Ketika Arah Gempa X+

$$\begin{aligned}
&= \frac{(M_{pr}^{+3} + M_{pr}^{-4}) + V_e 3 + V_e 4) \times \frac{h}{2}}{L_n} \\
&= \frac{(378318688 + 306130572) + (343090 + 343090) \times \frac{600}{2}}{3300} \\
&= 269789 \text{ N}
\end{aligned}$$

Geser Kolom Ketika Arah Gempa Y-

$$\begin{aligned}
&= \frac{(M_{pr}^{+2} + M_{pr}^{-1}) + V_e 3 + V_e 4) \times \frac{h}{2}}{L_n} \\
&= \frac{(378318688 + 306130572) + (343090 + 343090) \times \frac{600}{2}}{3300} \\
&= 269789 \text{ N}
\end{aligned}$$

Geser Kolom Ketika Arah Gempa Y+

$$\begin{aligned}
&= \frac{(M_{pr}^{+1} + M_{pr}^{-2}) + V_e 3 + V_e 4) \times \frac{h}{2}}{L_n} \\
&= \frac{(378318688 + 306130572) + (343090 + 343090) \times \frac{600}{2}}{3300} \\
&= 269789 \text{ N}
\end{aligned}$$

F. Gaya Geser Total Joint

$$\begin{aligned}
\text{Geser Joint Ketika Arah Gempa X-} &= 1339673 - 278220 = \\
&1061454 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Geser Joint Ketika Arah Gempa X+} &= 1339673 - 269789 = \\
&921032 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\text{Geser Joint Ketika Arah Gempa Y-} = 1339673 - 278220 = 1061454 \text{ N}$$

$$\text{Geser Joint Ketika Arah Gempa Y+} = 1339673 - 278220 = 1061454 \text{ N}$$

G. Kuat Geser Joint

$$\text{Konfigurasi Joint} = 3$$

$$\text{Faktor Pengali Kuat Geser (c)} = 1$$

$$\text{Kuat Geser Nominal Joint Gempa X (V}_{nX}\text{)}$$

$$= c \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times A_{jX} = 1 \times 1 \times \sqrt{30} \times 360000 = 1971801 \text{ N}$$

$$\text{Kuat Geser Nominal Joint Gempa Y (V}_{nY}\text{)}$$

$$= c \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times A_{jY} = 1 \times 1 \times \sqrt{30} \times 360000 = 1971801 \text{ N}$$

$$\text{Faktor Reduksi (\Phi)} = 0,85$$

$$\text{Kuat Geser Joint Gempa X (\Phi V}_{nX}\text{)} = 0,85 \times 1971801 = 1676031 \text{ N}$$

$$\text{Kuat Geser Joint Gempa Y (\Phi V}_{nY}\text{)} = 0,85 \times 1971801 = 1676031 \text{ N}$$

$$\text{Gaya Geser Joint Gempa X (V}_{uX}\text{)} = 1069884 \text{ N}$$

$$\text{Gaya Geser Joint Gempa Y (V}_{uY}\text{)} = 1069884 \text{ N}$$

$$\text{Faktor Keamanan Gempa X (SF}_X\text{)} = \frac{\Phi V_{nX}}{V_{uX}} = \frac{1676031}{1069884} = 1,567$$

$$\text{Faktor Keamanan Gempa Y (SF}_Y\text{)} = \frac{\Phi V_{nY}}{V_{uY}} = \frac{1676031}{1069884} = 1,567$$

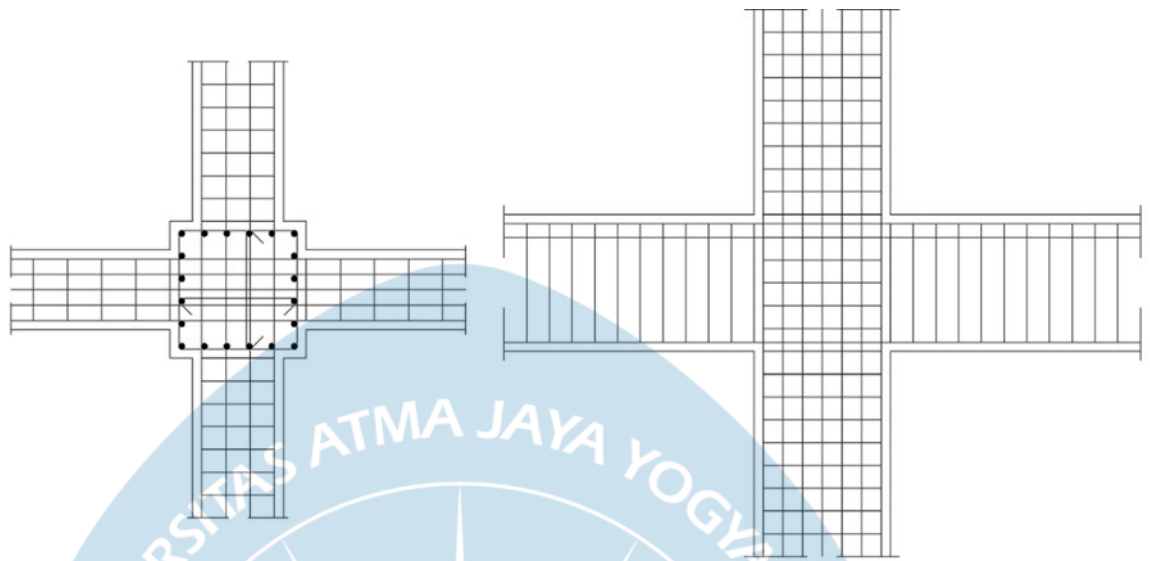
$$\text{Cek Kuat Geser Joint} \rightarrow SF \geq 1 \rightarrow 1,567 \geq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

→ Untuk tulangan transversal digunakan tulangan tumpuan kolom

H. Panjang Penyaluran Tarik

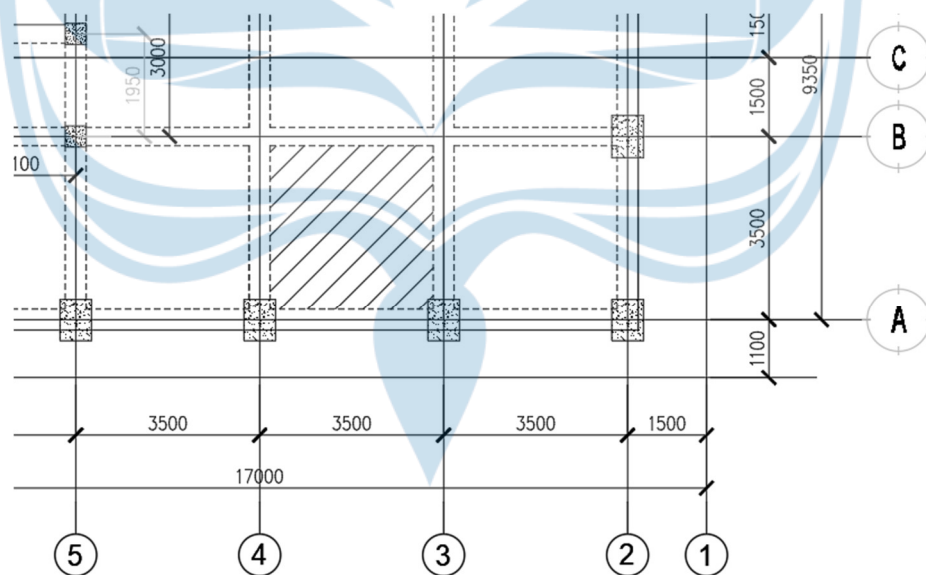
$$l_{dh} \text{ hitung} = \frac{f_y \times d_b}{5,4 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} = \frac{420 \times 19}{5,4 \times 1 \times \sqrt{30}} = 269,804 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \text{ pakai} = 269,804 \text{ mm}$$



Gambar 2. 17 Detail DED Penulangan Balok Kolom

2.9 Analisis Struktur Pelat



Gambar 2. 18 Detail Peletakan Pelat

A. Data Umum Pelat

L1	= 3500 mm
L2	= 3500 mm
Tebal Pelat (t)	= 125 mm

Diameter Tulangan d_b	= 10 mm
Selimut Bersih c_c	= 2 mm
Tebal Efektif Penampang (d)	= 90 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan (f_y)	= 420 MPa
Modulus Elastis Beton (E_c)	= 25743
β_1	= 0,8357
λ	= 1

B. Gaya Dalam dari ETabs

M Max akibat M11 Max	= 7,097 kNm
M Min akibat M11 Min	= -12,35 kNm
M Max akibat M22 Max	= 5,974 kNm
M Min akibat M22 Min	= -16,867 kNm
V_u	= 27,994 kN

C. Momen Positif M11 → Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu 1 (X)

Spasi Tulangan (s) = 150 mm

• Cek Spasi Maksimum

$$150 \leq 2 \times 125 \text{ mm}$$

$$150 \leq 250 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

Cek Jarak Bersih

$$n = \frac{1000}{150} = 6,6667$$

$$s - d_b = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

$$140 \geq d_b \rightarrow \text{OK!}$$

• Cek As Minimum

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 6,6667 = 523,599 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}}(f_y) < 420 \text{ MPa} = 0,2\% \times 1000 \times 125 = 250 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}}(f_y) \geq 420 \text{ MPa} = 0,18\% \times 1000 \times 125 \times \frac{420}{420} = 225 \text{ mm}^2$$

$$420 < 420,523,599 \geq 250,523,599 \geq 225 \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Kapasitas**

$$\text{Tinggi Blok Beton (a)} = \frac{523,59 \times 420}{0,85 \times 30 \times 1000} = 8,624 \text{ mm}$$

$$\text{Kapasitas Lentur (M}_n\text{)} = \frac{523,599 \times 420 \times (90 - \frac{8,624}{2})}{10^6} = 18,844 \text{ kNm}$$

$$\text{Lokasi Garis Netral} = \frac{8,624}{0,8357} = 10,319 \text{ mm}$$

$$\text{Regangan Tulangan Tarik (}\epsilon_s\text{)} = \frac{90 - 10,319}{10,319 \times 0,003} = 0,023$$

$$\text{Faktor Reduksi (}\phi\text{)} = 0,023 > 0,005$$

$$\text{Kapasitas Lentur Tereduksi (}\phi M_n\text{)} = 0,9 \times 18,844 = 16,959 \text{ kNm}$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi M_n > M_u = 16,959 \geq 7,097 \rightarrow \text{OK!}$$

D. Momen Positif M11 → Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu 1 (X)

$$\text{Spasi Tulangan (s)} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah Lapis} = 2$$

- **Cek Spasi Maksimum**

$$100 \leq 2 \times 125 \text{ mm}$$

$$100 \leq 250 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Jarak Bersih**

$$n = \frac{1000}{100} = 10$$

$$s - d_b = 100 - 10 = 90 \text{ mm}$$

$$90 \geq d_b \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Minimum**

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 10 = 785,398 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}}(f_y) < 420 \text{ MPa} = 0,2\% \times 1000 \times 125 = 250 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}}(f_y) \geq 420 \text{ MPa} = 0,18\% \times 1000 \times 125 \times \frac{420}{420} = 225 \text{ mm}^2$$

$$420 < 785,398 \geq 250,785,398 \geq 225 \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Kapasitas**

$$\text{Tinggi Blok Beton (a)} = \frac{785,398 \times 420}{0,85 \times 30 \times 1000} = 12,936 \text{ mm}$$

$$\text{Kapasitas Lentur (M}_n\text{)} = \frac{785,398 \times 420 \times (90 - \frac{12,936}{2})}{10^6} = 27,554 \text{ kNm}$$

$$\text{Lokasi Garis Netral (c)} = \frac{12,936}{0,8357} = 15,479 \text{ mm}$$

$$\text{Regangan Tulangan Tarik (}\epsilon_s\text{)} = \frac{90 - 15,479}{15,479 \times 0,003} = 0,014$$

$$\text{Faktor Reduksi (}\phi\text{)} = 0,023 > 0,005$$

$$\text{Kapasitas Lentur Tereduksi (}\phi M_n\text{)} = 0,9 \times 27,554 = 24,799 \text{ kNm}$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi M_n > M_u = 16,959 \geq 12,35 \rightarrow \text{OK!}$$

E. Momen Positif M22 → Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu 2 (Y)

$$\text{Spasi Tulangan (s)} = 150 \text{ mm}$$

- **Cek Spasi Maksimum**

$$150 \leq 2 \times 125 \text{ mm}$$

$$150 \leq 250 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Jarak Bersih**

$$n = \frac{1000}{150} = 7$$

$$s - d_b = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

$$140 \geq d_b \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Minimum**

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 7 = 523,599 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}}(f_y) < 420 \text{ MPa} = 0,2\% \times 1000 \times 125 = 250 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}}(f_y) \geq 420 \text{ MPa} = 0,18\% \times 1000 \times 125 \times \frac{420}{420} = 225 \text{ mm}^2$$

$$420 < 420, 523,599 \geq 250, 523,599 \geq 225 \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Kapasitas**

$$\text{Tinggi Blok Beton (a)} = \frac{523,59 \times 420}{0,85 \times 30 \times 1000} = 8,624 \text{ mm}$$

$$\text{Kapasitas Lentur (M}_n\text{)} = \frac{523,599 \times 420 \times (90 - 10 \frac{8,624}{2})}{10^6} = 16,645 \text{ kNm}$$

$$\text{Lokasi Garis Netral} = \frac{8,624}{0,8357} = 10,319 \text{ mm}$$

$$\text{Regangan Tulangan Tarik } (\epsilon_s) = \frac{90-10,319}{10,319 \times 0,003} = 0,023$$

$$\text{Faktor Reduksi } (\phi) = 0,023 > 0,005$$

$$\text{Kapasitas Lentur Tereduksi } (\phi M_n) = 0,9 \times 16,645 = 14,980 \text{ kNm}$$

$$\text{Cek Kapasitas } = \phi M_n > M_u = 14,980 \geq 5,974 \rightarrow \text{OK!}$$

F. Momen Positif M22 → Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu 2 (Y)

$$\text{Spasi Tulangan } (s) = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah Lapis} = 2$$

- **Cek Spasi Maksimum**

$$100 \leq 2 \times 125 \text{ mm}$$

$$100 \leq 250 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Jarak Bersih**

$$n = \frac{1000}{100} = 10$$

$$s - d_b = 100 - 10 = 90 \text{ mm}$$

$$90 \geq d_b \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Minimum**

$$\text{As Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 10 = 785,398 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min}(f_y) < 420 \text{ MPa} = 0,2\% \times 1000 \times 125 = 250 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min}(f_y) \geq 420 \text{ MPa} = 0,18\% \times 1000 \times 125 \times \frac{420}{420} = 225 \text{ mm}^2$$

$$420 < 785,398 \geq 250, 785,398 \geq 225 \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Kapasitas**

$$\text{Tinggi Blok Beton } (a) = \frac{785,398 \times 420}{0,85 \times 30 \times 1000} = 12,936 \text{ mm}$$

$$\text{Kapasitas Lentur } (M_n) = \frac{785,398 \times 420 \times (90 - 10 \times \frac{12,936}{2})}{10^6} = 24,256 \text{ kNm}$$

$$\text{Lokasi Garis Netral } (c) = \frac{12,936}{0,8357} = 15,479 \text{ mm}$$

$$\text{Regangan Tulangan Tarik } (\epsilon_s) = \frac{90-15,479}{15,479 \times 0,003} = 0,014$$

$$\text{Faktor Reduksi } (\phi) = 0,023 > 0,005$$

$$\text{Kapasitas Lentur Tereduksi } (\phi M_n) = 0,9 \times 24,256 = 21,830 \text{ kNm}$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi M_n > M_u = 21,830 \geq 16,867 \rightarrow \text{OK!}$$

G. Tulangan Minimum (untuk Tumpuan Bawah dan Lapangan Atas arah X dan arah Y)

$$\text{Spasi Tulangan (s)} = 150 \text{ mm}$$

- **Cek Spasi Maksimum**

$$150 \leq 2 \times 125 \text{ mm}$$

$$150 \leq 250 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek Jarak Bersih**

$$n = \frac{1000}{150} = 7$$

$$s - d_b = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

$$140 \geq d_b \rightarrow \text{OK!}$$

- **Cek As Minimum**

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 7 = 523,599 \text{ mm}^2$$

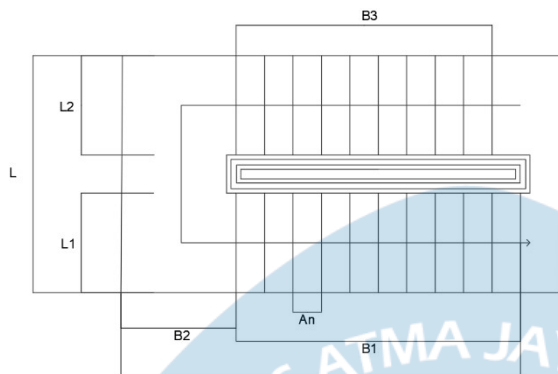
$$A_{s_{\min}}(f_y) < 420 \text{ MPa} = 0,2\% \times 1000 \times 125 = 250 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}}(f_y) \geq 420 \text{ MPa} = 0,18\% \times 1000 \times 125 \times \frac{420}{420} = 225 \text{ mm}^2$$

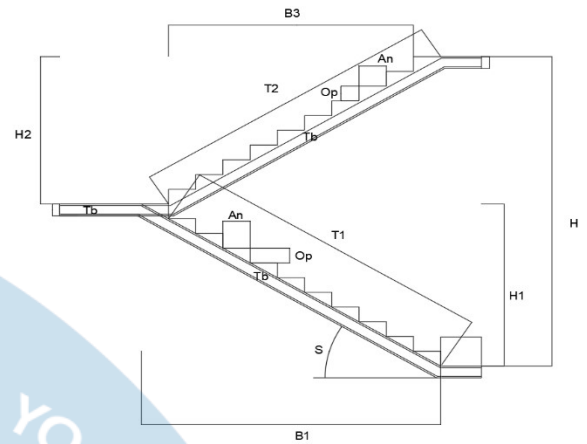
$$420 < 420, 523,599 \geq 250, 523,599 \geq 225 \rightarrow \text{OK!}$$

2.10 Analisis Struktur Tangga

Tangga merupakan komponen penting dalam sebuah bangunan sebagai mobilitas penghuni. Aspek keamanan dan kenyamanan menjadi poin penting dalam perencanaannya sehingga kekuatan dan stabilitas strukturnya harus di perhitungkan dengan baik. Tangga yang di desain adalah tangga beton bertulang bentuk U dengan 1 bordes yang berdasar pada SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain dan SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.



Gambar 2. 20 Tampak Atas Tangga



Gambar 2. 19 Tampak Samping Tangga

A. Data Umum Tangga

- H = 3,90 m
- An = 0,30 m dengan jumlah 19 Set
- Op = 0,19 m dengan jumlah 21 set
- L1 = 1,05 m
- B1 = 3 m
- B2 = 1,20 m
- H1 = 2,04 m
- H2 = 1,86 m
- L2 = 1,05m
- L = 2,10 m
- B3 = 2,70 m
- B4 = 4,20 m
- Tb = 0,15 m
- S = 31,76°
- T1 = 3,63 m
- T2 = 3,28 m
- f_c' = 30 Mpa
- f_{yu} = 420 Mpa

- f_{yp} = 420 Mpa
- S Beton = 2 cm
- d = 130 mm

B. Pembebanan Tangga

Beban Mati Tangga (DL)

Plat Beton	=	3,82 kN/m	
Spasi 2 cm	=	0,42 kN/m	
Pasir 5 cm	=	0,48 kN/m	
Keramik	=	0,24 kN/m	+
		4,96 kN/m	

Beban Mati Bordes (DL)

Plat Beton	=	3,6 kN/m	
Spasi 2 cm	=	0,42 kN/m	
Pasir 5 cm	=	0,48 kN/m	
Keramik	=	0,24 kN/m	+
		4,74 kN/m	

- **Beban Hidup Tangga (LL)**

Sesuai dengan ketentuan pada SNI 1727-2020, maka

Beban Hidup (LL) = 4,79 kN/m

- **Kombinasi Beban**

1,2 DL + 1,6 DL

Beban Kombinasi Tangga = $1,2 (4,96) + 1,6 (4,79) = 13,62 \text{ kN/m}$

Beban Kombinasi Bordes = $1,2 (4,74) + 1,6 (4,79) = 13,35 \text{ kN/m}$

C. Tebal Pelat Tangga

$$h_{min} = \frac{L}{20} \times 0,4 + \frac{f'c'}{700}$$

$$L = (B1 + H1) \times 1000$$

$$L = (3 + 1,2) \times 1000 = 4200$$

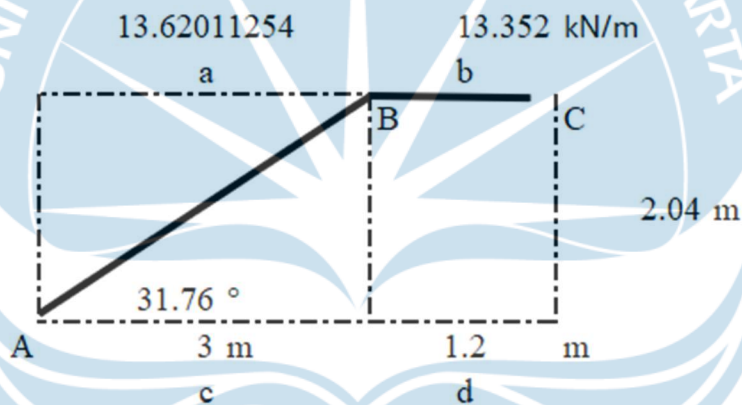
$$h_{min} = \frac{4200}{20} \times 0,4 + \frac{30}{700} =$$

$$h_{min} = 84,03 \text{ mm}$$

$$h_{min} = 8,4 \text{ cm}$$

Tebal pelat tangga yang dipakai adalah 15 cm

• Tangga Bawah Bordes



Gambar 2. 21 Ilustrasi Tangga di Bawah Bordes

$$\Sigma_{ma} = \frac{a \times c \times \frac{c}{2} + b \times d \times \frac{d}{2} + c}{c + d}$$

$$\Sigma_{ma} = \frac{\left(13,62 \times 3 \times \left(\frac{3}{2}\right)\right) + (13,52 \times 1,2) \times \left(\left(\frac{1,2}{2}\right) + 3\right)}{3 + 1,2}$$

$$\Sigma_{ma} = \frac{118,97}{4,2}$$

$$R_{cv} = 28,33 \text{ kN}$$

$$\Sigma_{mc} = \frac{a \times c \times \frac{c}{2} + d + b \times d \times \frac{d}{2}}{c + d}$$

$$\Sigma_{ma} = \frac{(13,62 \times 3) \times \left(\left(\frac{3}{2} \right) + 1,2 \right) + \left(13,35 \times 1,2 \times \left(\frac{1,2}{2} \right) \right)}{3 + 1,2}$$

$$R_{av} = 28,56 \text{ kN}$$

Check Perhitungan

$$R_{av} + R_{cv} = (a \times c) + (b \times d)$$

$$28,56 + 28,33 = (13,62 \times 3) + (13,35 \times 1,2)$$

$$56,88 = 56,88 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK!}$$

Momen Maksimum

Terjadi Pada A = 0

$$R_{av} - a \cdot x$$

$$x = \frac{R_{av}}{a}$$

$$x = \frac{28,56}{13,62}$$

$$x = 2,10 \text{ m}$$

$$MA_{max} = R_{av} \cdot x - a \cdot x \cdot \frac{1}{2} x$$

$$MA_{max} = 28,56 \times 2,10 - 13,62 \times 2,10 \left(\frac{1}{2} \times 2,10 \right)$$

$$MA_{max} = 59,87 - 29,94 = 29,94 \text{ kNm}$$

$$MB = R_{av} \cdot c - a \cdot c \cdot \frac{1}{2} c$$

$$MB = 28,56 \times 3 - 13,62 \times 3 \left(\frac{1}{2} \times 3 \right)$$

$$MB = 85,67 - 61,29 = 24,38 \text{ kNm}$$

Terjadi Pada C = 0

$$R_{cv} - b \cdot x$$

$$x = \frac{R_{cv}}{b}$$

$$x = \frac{28,33}{13,35}$$

$$x = 2,12 \text{ m}$$

$$MC_{max} = R_{cv} \cdot x - b \cdot x \cdot \frac{1}{2} x$$

$$MC_{max} = 28,33 \times 2,12 - 3 \times 2,12 \left(\frac{1}{2} \times 2,12 \right)$$

$$MC_{max} = 60,09 - 30,05 = 30,05 \text{ kNm}$$

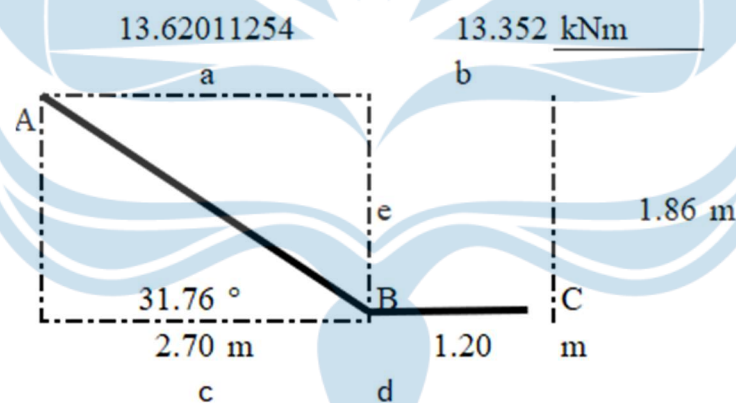
$$MB = R_{cv} \cdot d - a \cdot d \cdot \frac{1}{2} d$$

$$MB = 28,33 \times 1,2 - 13,62 \times 1,2 \left(\frac{1}{2} \times 1,2 \right)$$

$$MB = 33,99 - 9,61 = 24,38 \text{ kNm}$$

$$M_{max} = 30,05 \text{ kNm}$$

- **Tangga Diatas Bordes**



Gambar 2. 22 Ilustrasi Tangga di Atas Bordes

$$\Sigma_{ma} = \frac{a \times c \times \frac{c}{2} + b \times d \times \frac{b}{2} + c}{c + d}$$

$$\Sigma_{ma} = \frac{\left(13,62 \times 2,70 \times \left(\frac{2,70}{2} \right) \right) + (13,35 \times 2,70) \times \left(\left(\frac{13,35}{2} \right) + 2,70 \right)}{2,7 + 1,2}$$

$$\Sigma_{ma} = \frac{102,52}{3,90}$$

$$R_{cv} = 26,29 \text{ kNm}$$

$$\Sigma_{mc} = \frac{a \times c \times \frac{c}{2} + d + b \times d \times \frac{d}{2}}{c + d}$$

$$\Sigma_{mc} = \frac{(13,62 \times 2,70) \times \left(\left(\frac{2,70}{2} \right) + 1,20 \right) + \left(13,35 \times 1,2 \times \left(\frac{1,2}{2} \right) \right)}{3 + 1,2}$$

$$\Sigma_{mc} = \frac{103,39}{3,90}$$

$$R_{av} = 26,51 \text{ kNm}$$

Cek Perhitungan

$$R_{av} + R_{cv} = (a \times c) + (b \times d)$$

$$26,51 + 26,29 = (13,62 \times 2,7) + (13,35 \times 1,2)$$

$$52,797 = 52,79 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK!}$$

Momen Maksimum

Terjadi Pada A = 0

$$R_{av} - a \cdot x$$

$$x = \frac{R_{av}}{a}$$

$$x = \frac{26,51}{13,62}$$

$$x = 1,95 \text{ m}$$

$$MA_{max} = R_{av} \cdot x - a \cdot x \cdot \frac{1}{2} x$$

$$MA_{max} = 26,51 \times 1,95 - 13,62 \times \left(\frac{1}{2} \times 1,95 \right)$$

$$MA_{max} = 51,59 - 25,79 = 25,80 \text{ kNm}$$

$$MB = R_{cv} \cdot d - a \cdot d \cdot \frac{1}{2} d$$

$$MB = 26,29 \times 1,2 - 13,62 \times 1,2 \left(\frac{1}{2} \times 1,2 \right)$$

$$MB = 71,57 - 49,64 = 21,93 \text{ kNm}$$

Terjadi Pada C = 0

$$R_{cv} - b \cdot x$$

$$x = \frac{R_{cv}}{b}$$

$$x = \frac{26,28}{13,35}$$

$$x = 1,97 \text{ m}$$

$$MC_{max} = R_{cv} \cdot x - b \cdot x \cdot \frac{1}{2} x$$

$$MC_{max} = 26,28 \times 1,97 - 13,35 \times 1,97 \left(\frac{1}{2} \times 1,97 \right)$$

$$MC_{max} = 51,16 - 25,87 = 25,29 \text{ kNm}$$

$$MB = R_{cv} \cdot d - a \cdot d \cdot \frac{1}{2} d$$

$$MB = 26,28 \times 1,2 - 13,62 \times 1,2 \left(\frac{1}{2} \times 1,2 \right)$$

$$MB = 31,54 - 9,61 = 21,93 \text{ kNm}$$

$$M_{max} = 25,80 \text{ kNm}$$

M_{max} yang digunakan adalah M_{max} terbesar yaitu

$$M_{max} = 30,05 \text{ kNm}$$

D. Tulangan Arah X

Tulangan Pokok

$$\frac{M_u}{f \cdot b \cdot d^2}$$

$$\frac{300475,034}{0,8 \cdot 1000 \cdot 130^2} = 0,02 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_{y_u}} \times 1 - \frac{2 \times Tul. Pokok^{0,5}}{0,85 \times f_c'}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 30}{420} \times 1 - \frac{2 \times 0,02^{0,5}}{0,85 \times 30} = 0,0000529$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{420} = 0,003$$

$$A_{tul.x} = 433,33 \text{ mm}^2/\text{m}^1$$

Tulangan Bawah

$$D = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \pi \times 13^2 = 133$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{A_{tul.x}}{\text{Luas}} = \frac{433,33}{133} = 3,26 \text{ Dibulatkan menjadi } 4$$

$$A = 133 \times \frac{1000}{250} = 531 \text{ mm}^2/\text{m}^1$$

Tulangan Atas

$$\rho_{min} \times 1000 \times 130 = 433$$

$$D = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \pi \times 13^2 = 133$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{\text{Tul. Atas}}{\text{Luas}} = \frac{433}{133} = 3,26 \text{ Dibulatkan menjadi } 4$$

Dengan Jarak 250 mm

$$A = 133 \times \frac{1000}{250} = 531 \text{ mm}^2/\text{m}^1$$

E. Tulangan Arah Y

$$\rho_{min} \times 1000 \times 130 = 433$$

$$D = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \pi \times 13^2 = 133$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{\text{Tul. Atas}}{\text{Luas}} = \frac{433}{133} = 3,26 \text{ Dibulatkan menjadi } 4$$

Dengan Jarak 250 mm

$$A = 133 \times \frac{1000}{250} = 531 \text{ mm}^2/\text{m}^1$$

• Tulangan Step Tangga

Tulangan Arah X

$$\frac{0,003 \times (1000.A_n) \times (1000.O_p)}{2} = 92,857 \text{ mm}^2$$

$$D = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = 2$$

$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \pi \times 13^2 = 132,665$$

$$A = 2 \times 132,665 = 265 \text{ mm}^2/\text{m}^1$$

Tulang Arah Y

$$D = 13 \text{ mm}$$

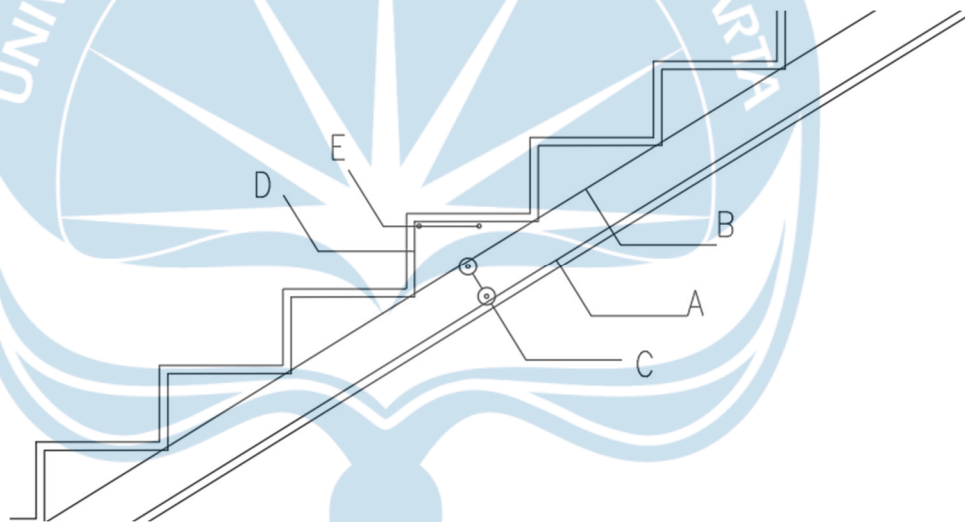
$$S = \frac{1}{2} h = 15 \text{ cm}$$

$$S = \frac{3 \times A.Tul \times f_y \text{ Sengkan}}{b} = \frac{33390}{300} = 1113 \text{ mm}$$

$$S = 111,3 \text{ cm}$$

Maka yang digunakan adalah D 13 mm dengan jarak 15 cm

F. Rekap Hasil



Gambar 2. 23 Detail DED Penulangan Tangga

Tabel 2. 49 Data Penulangan Tangga

Tinggi Lantai	3,90
Optrede	0,19
Antrede	0,30
Tebal Plat Beton	0,15
Lebar Tangga	1,05
Lebar Bordes	1,20
Tulangan A	4D13-250
Tulangan B	4D13-250
Tulangan C	D13-250

Tulangan D	D13
Tulangan E	2D13-150
Mutu Beton	fc' 30
Mutu Besi Tulangan Utama	fy 420
Mutu Besi Tulangan Pembagi/Sengkang	Fy 420

2,10 Perencanaan Pondasi

Pondasi merupakan elemen krusial yang berfungsi menopang keseluruhan bagian bangunan di atasnya. Pondasi menyalurkan berat bangunan ke tanah, sehingga menjamin stabilitas dan keamanan bangunan dalam jangka panjang. Apabila pondasi tidak kokoh atau tidak dirancang dengan benar, bangunan akan berisiko mengalami penurunan, keretakan, atau bahkan keruntuhan. Saat tanah permukaan terlalu lemah untuk menopang beban struktur, terutama pada bangunan tinggi, pondasi dalam menjadi solusi penting. Pondasi ini berfungsi menyalurkan beban ke lapisan tanah yang lebih padat di kedalaman. Oleh sebab itu, digunakan pondasi jenis bore pile karena memiliki beberapa keunggulan seperti kapasitas dukung tinggi, desain yang fleksibel, kedalaman variabel, tidak menyebabkan pergeseran tanah, fleksibilitas terhadap kondisi tanah, serta minim getaran dan kebisingan.

2.10.1 Daya Dukung Tiang dengan Metode Meyerhof

Untuk memastikan bahwa bore pile yang dirancang mampu menopang beban bangunan dengan aman, digunakan salah satu metode untuk menganalisis daya dukung yaitu metode Meyerhof. Metode Meyerhof adalah cara yang sistematis untuk menilai seberapa kuat bore pile (tiang bor) dapat menahan beban. Ini penting untuk memastikan fondasi yang dibuat bisa menyangga bangunan di atasnya dengan aman dan stabil sepanjang masa pakainya.

Tahanan Ujung pas Satuan Luas (f_b)

$$q_{ca} = 170 \frac{kg}{m^2} = 17000 \text{ kN/m}^2$$

$$\omega_1 = 1$$

$$\omega_2 = 1$$

$$SF = 2,5 - 4$$

$$f_b = \omega_1 \times \omega_2 \times q_{ca} = 1 \times 1 \times 17000 = 17000 \text{ kN/m}^2$$

Untuk tiang bor diambil nilai f_b sebesar 70%

$$F_b = 70\% \times 17000 = 11900 \text{ kN/m}^2$$

Tahanan Ujung Tiang

$$Q_b = A_b \times f_b$$

$$Q_b = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times f_b$$

$$Q_b = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,4^2 \times 11900$$

$$Q_b = 1494,64 \text{ kN}$$

Tahanan Gesek

$$f_s = k_c \times q_c$$

$$f_{s1} = 0,005 \times 60 = 0,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \rightarrow 30 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{s1} = 0,005 \times 125 = 0,625 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \rightarrow 62,5 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{s1} = 0,005 \times 230 = 1,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \rightarrow 115 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$= \pi \times 0,4 \times (2,6 - 0) \times 30 + \pi \times 0,4 \times (6,7 - 2,6) \times 62,5 + \pi \times 0,4 \times (8,6 - 6,7) \times 115$$

$$= 98,018 + 322,013 + 274,757$$

$$= 694,606 \text{ kN}$$

Kuat Dukung Ultimit

$$Q_u = Q_b + Q_s = 1494,64 + 694,606 = 2189,246 \text{ kN}$$

Daya Dukung Ijin Tiang Bor (Qall)

$$Q_{all} = \frac{2189,246}{4} = 547,312 \text{ kN}$$

Jumlah tiang yang dibutuhkan (n)

$$n = \frac{P_u}{SF} = \frac{1838,923}{547,312} \approx 4 \text{ tiang}$$

2.10.2 Perencanaan Pile Cap

A. Data Umum Pile Cap

- Tebal Pile Cap = 500 mm
- Diameter Bore Pile = 400 mm
- P = 59,481 ton
- Tebal Selimut Beton = 75 mm
- Lebar Kolom X = 600 mm
- Lebar Kolom Y = 800 mm
- Jumlah Tiang Bore Pile (ns) = 4 tiang
- Faktor Reduksi (ϕ) = 0,75
- $\alpha = 40$
- Kuat Tekan Beton (f'_c) = 30 MPa
- Kuat Leleh Baja Tulangan (f_y) = 420 MPa

B. Analisis Pile Cap

Jarak Antar Tiang Pancang

$$L_x = 2,5 \times 400 = 1000 \text{ mm}$$

$$L_y = 3 \times 400 = 1200 \text{ mm}$$

Jarak Tiang ke Tepi Pile Cap

$$= 1,5 \times 400 = 600 \text{ mm}$$

Dimensi Pile Cap

$$L_x = 2 \times 600 + 1000 = 2200 \text{ mm}$$

$$L_y = 2 \times 600 + 1200 = 2400 \text{ mm}$$

C. Analisis Geser Satu Arah

Arah X

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{59,481}{2,2 \times 2,4} = 11,265 \text{ ton/m}^2$$

Tebal Efektif Pile Cap (d)

$$= 500 - 75 = 425 \text{ mm}$$

Daerah Pembebanan (G')

$$= L + \left(\frac{L}{2} + \frac{\text{lebar kolom}}{2} \right) + d = 2200 - \left(\frac{2200}{2} + \frac{600}{2} \right) + 425 = 375 \text{ mm}$$

Gaya Geser (V_u)

$$= \sigma \times L \times G' = 11,265 \times 2,2 \times 0,375 = 9,294 \text{ ton}$$

Kuat Geser Beton

$$\phi V_c = \phi \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times L \times d = 0,75 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 2200 \times 425 = 64,015 \text{ ton}$$

Cek Kuat Geser Beton

$$\rightarrow \phi V_c > V_u \rightarrow 64,015 > 9,294 \text{ ton} \rightarrow \text{OK!}$$

Arah Y

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{59,481}{2,2 \times 2,4} = 11,265 \text{ ton/m}^2$$

Tebal Efektif Pile Cap (d)

$$= 500 - 75 = 425 \text{ mm}$$

Daerah Pembebanan (G')

$$= L + \left(\frac{L}{2} + \frac{\text{lebar kolom}}{2} \right) + d = 2400 - \left(\frac{2400}{2} + \frac{800}{2} \right) + 425 = 375 \text{ mm}$$

Gaya Geser (V_u)

$$= \sigma \times L \times G' = 11,265 \times 2,4 \times 0,375 = 10,139 \text{ ton}$$

Kuat Geser Beton

$$\phi V_c = \phi \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times L \times d = 0,75 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 2400 \times 425 = 69,835 \text{ ton}$$

Cek Kuat Geser Beton

$$\rightarrow \phi V_c > V_u \rightarrow 69,835 > 10,139 \text{ ton} \rightarrow \text{OK!}$$

D. Analisis Geser Dua Arah

$$B'_x = \text{lebar kolom } x + d = 600 + 425 = 1025 \text{ mm}$$

$$B'_y = \text{lebar kolom } y + d = 800 + 425 = 1225 \text{ mm}$$

$$B_0 = 2 \times B'_x + 2 \times B'_y = 2 \times 1025 + 2 \times 1225 = 4500 \text{ mm}$$

$$\beta_c = \frac{\text{lebar kolom } x}{\text{lebar kolom } y} = \frac{600}{800} = 1,333$$

Perhitungan V_c untuk Geser Dua Arah

Tabel 2. 50 Perhitungan V_c untuk geser dua arah

V_c		
Nilai terkecil dari a), b), dan c):	$0,33\lambda\sqrt{f'_c}$	a)
	$0,17\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	b)
	$0,083\left(2 + \frac{a,d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	c)

Catatan: β adalah rasio perbandingan sisi panjang dan sisi pendek kolom, beban terpusat, atau daerah reaksi dan a , diberikan pada 22.6.5.3.

$$V_{c1} \rightarrow$$

$$= \frac{0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times B_0 \times d}{10000}$$

$$= \frac{0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 4500 \times 425}{10000} = 345,681 \text{ ton} \rightarrow \text{terkecil}$$

$$V_{c2} \rightarrow$$

$$= \frac{0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times B_0 \times d}{10000}$$

$$= \frac{0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1,333}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 4500 \times 425}{10000} = 445,196 \text{ ton}$$

$$V_{c3} \rightarrow$$

$$= \frac{0,083 \times \left(2 + \frac{\alpha \times d}{B_0}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times B_0 \times d}{10000}$$

$$= \frac{0,083 \times \left(2 + \frac{40 \times 425}{4500}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 4500 \times 425}{10000} = 502,343 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = \phi \times V_c = 0,75 \times 345,681 = 259,261 \text{ ton}$$

$$V_u = \sigma \times (L^2 \times B'^2) = 11,265 \times (2,2 \times 2,4 - 1,025 \times 1,225) = 45,336 \text{ ton}$$

Cek Geser Dua Arah

$$\rightarrow \phi V_c > V_u = 259,261 > 45,336 \text{ ton} \rightarrow \text{OK!}$$

E. Penulangan Tulangan Lentur

$$P_u = 59,481 \text{ ton}$$

$$M_x = 32,007 \text{ kNm}$$

$$M_y = 65,538 \text{ kNm}$$

F. Lebar Penampang Kritis B → Lx

$$B = \frac{L}{2} - \frac{\text{lebar kolom } x}{2} = \frac{2200}{2} - \frac{600}{2} = 800 \text{ mm}$$

Berat Pile Cap pada Penampang Kritis q'

$$q' = 2400 \times L \times \text{Tebal pile cap} = 2400 \times 2,2 \times 0,5 = 2640 \text{ Kgm}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 2 \times \left(\frac{P_u}{n_s} \times s \right) - \frac{1}{2} \times q' \times B \\ &= 2 \times \left(\frac{59,481 \times 1000}{4} \times 0,4 \right) - \frac{1}{2} \times 2640 \times 0,8 \\ &= 11051,417 \text{ Kgm} \\ &= 108,377 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{P_u}{\phi \times L \times d^2} = \frac{108,377 \times 10^6}{0,9 \times 2200 \times 425^2} = 0,303036945$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_{c'}}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'}}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,30303694}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,000725 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times L \times d = 0,000725 \times 2200 \times 425 = \\ &678,675 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{min}}} &= 0,0018 \times L \times \text{tebal pile cap} = 0,0018 \times 2200 \times 500 = \\ &1980 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dipakai Tulangan D19-150} &\rightarrow \text{Jumlah tulangan} = \frac{2200}{150} + 1 = \\ &16 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$A_s = \frac{1}{4} \times 19^2 \times 16 = 1444 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma H = 0 \rightarrow C_c = T_s$$

$$0,85 \times f'_c \times a \times L = A_s \times f_y \rightarrow a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times L}$$

$$a = \frac{1444 \times 420}{0,85 \times 30 \times 2200}$$

$$a = 8,108 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{8,108}{0,85} = 9,539 \text{ mm}$$

Kontrol

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \times \varepsilon_c = \frac{425-9,539}{9,539} \times 0,003 = 0,131 > \frac{f_y}{\varepsilon_s} = \frac{420}{200000} =$$

0,0021 → **OK!**

$$\varepsilon_t = \varepsilon_s \rightarrow 0,131 > 0,005 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times a \times L \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 0,85 \times 30 \times 8,108 \times 2200 \times \left(425 - \frac{8,108}{2}\right)$$

$$= 191471492,7 \text{ Nmm}$$

$$= 191,4714927 \text{ kNm}$$

$$M_u = \phi \times M_n = 0,9 \times 191,471 = 171,324 \text{ kNm} > 108,377 \text{ kNm}$$

→ **OK!**

G. Lebar Penampang Kritis B → Ly

$$B = \frac{L}{2} - \frac{\text{lebar kolom } x}{2} = \frac{2400}{2} - \frac{800}{2} = 800 \text{ mm}$$

Berat Pile Cap pada Penampang Kritis q'

$$q' = 2400 \times L \times \text{Tebal pile cap} = 2400 \times 2,4 \times 0,5 = 2880 \text{ Kgm}$$

$$M_u = 2 \times \left(\frac{P_u}{n_s} \times s\right) - \frac{1}{2} \times q' \times B$$

$$= 2 \times \left(\frac{59,481 \times 1000}{4} \times 0,4 \right) - \frac{1}{2} \times 2880 \times 0,8$$

$$= 10974,617 \text{ Kgm}$$

$$= 107,624 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{Pu}{\phi \times L \times d^2} = \frac{107,624 \times 10^6}{0,9 \times 2400 \times 425^2} = 0,275853453$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,275853453}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,00066 \end{aligned}$$

$$A_{S\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times L \times d = 0,00066 \times 2400 \times 425 = 673,593 \text{ mm}^2$$

$$A_{S\text{min}} = 0,0018 \times L \times \text{tebal pile cap} = 0,0018 \times 2400 \times 500 = 2160 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai Tulangan D19-150} \rightarrow \text{Jumlah tulangan} = \frac{2400}{150} + 1 = 17 \text{ buah}$$

$$A_s = \frac{1}{4} \times 19^2 \times 17 = 1534,25 \text{ mm}^2$$

$$\sum H = 0 \rightarrow C_c = T_s$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times L = A_s \times f_y \rightarrow a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times L}$$

$$a = \frac{1444 \times 420}{0,85 \times 30 \times 2400}$$

$$a = 10,529 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{10,529}{0,85} = 12,387 \text{ mm}$$

Kontrol

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \times \varepsilon_c = \frac{425-12,387}{12,387} \times 0,003 = 0,1 > \frac{f_y}{\varepsilon_s} = \frac{420}{200000} = 0,0021 \rightarrow$$

OK!

$$\varepsilon_t = \varepsilon_s \rightarrow 0,1 > 0,005 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times a \times L \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 0,85 \times 30 \times 10,529 \times 2400 \times \left(425 - \frac{10,529}{2}\right)$$

$$= 270471206,5 \text{ Nmm}$$

$$= 270,4712065 \text{ kNm}$$

$$M_u = \phi \times M_n = 0,9 \times 270,471 = 243,424 \text{ kNm} > 107,624 \text{ kNm}$$

→ OK!

2.11 Perencanaan Bore Pile

A. Data Umum Bore Pile

- Diameter Tiang (D) = 400 mm
- Selimut Bersih C_c = 75 mm
- Diameter Tulangan Longitudinal (d_b) = 19 mm
- Diameter Tulangan Sengkang (d_s) = 13 mm
- Tinggi Efektif Penampang (d) = 302,5 mm
- Kuat Tekan Beton (f'_c) = 30 MPa
- Kuat Leleh Tulangan Longitudinal (f_y) = 420 MPa
- Kuat Leleh Tulangan Transversal (f_{yv}) = 420 MPa

B. Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur Menggunakan SP

Column

Tabel 2. 51 Gaya Dalam Pile Cap

No.	P _u kN	M _{ux} kNm	φP _n kN	φM _{ux} kNm	NA Depth mm	ε _t	φ	Ratio
1	79.93	8.25	0.00	72.82	93	0.00686	0.900	0.44
2	1379.60	-12.23	2399.94	-12.23	396	-0.00084	0.750	0.57
3	491.10	89.33	267.92	97.75	122	0.00450	0.870	0.88

Jumlah Tulangan (n) = 5

$$\text{Luas Tulangan Longitudinal} = \frac{n \times \pi}{4} \times d_b^2 = \frac{5 \times \pi}{4} \times 19^2 = 1417,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas Penampang (As)} = \frac{\pi}{4} \times D^2 = \frac{\pi}{4} \times 400^2 = 125663,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Rasio Tulangan} = \frac{A_s}{A_g} = \frac{1417,6}{125663,7} = 1,13\%$$

Cek $\rho_{\min} = \text{rasio tulangan} \geq 0,5\% \rightarrow 1,13\% \geq 0,5\% \rightarrow \text{OK!}$

C. Transversal Tulangan

$$\text{Spasi Tumpuan (Ss)} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Lapangan (Sm)} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Sengkang Tumpuan (Av)} = \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = \frac{\pi}{4} \times 19^2 = 132,732 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas per Spasi Tumpuan (Av/Ss)} = 2 \times \frac{A_v}{S_s} = 2 \times \frac{132,732}{100} = 2,655 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

D. Kuat Geser

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

$$V_u = 209808 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u \times 10^3}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f_c'} \times D \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{0,62 \times 10^3}{14 \times 600 \times 800}\right) \times \sqrt{30} \times 400 \times 302,5 \\ &= 112667 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{209808}{0,75} - 112667 = 167078 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = \frac{V_s}{f_{yv} \times d} = \frac{167078}{420 \times 302,5} = 1,3151 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Cek } A_s/s = \frac{A_v}{S_s} \geq A_{s\text{Perlu}} \rightarrow 2,655 \geq 1,3151 \rightarrow \text{OK!}$$

E. Panjang Zona Confinement

$$l_0 = 3 \times D = 3 \times 400 = 1200 \text{ mm}$$

F. Kekangan Zona Sendi Plastis

Rasio Voumetrik Terpasang (ρ)

$$= \frac{4 \times A_v}{s \times D_s} = \frac{4 \times 132,732}{(100 \times (400 - 2 \times 75 - 13))} = 2,24\% \text{ mm}^2$$

Rasio Voumetrik Perlu ($\rho_{\min}$)

$$= 0,5 \times \left(\frac{0,12 \times f_c'}{f_{yv}} \right) = 0,5 \times \left(\frac{0,12 \times 30}{420} \right) = 0,43\% \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek } \rho \rightarrow \rho \geq \rho_{\min} \rightarrow 2,24\% \geq 0,43\% \rightarrow \text{OK!}$$

G. Diameter Senggang Minimum

$$d_{s,\min} = D \leq 500 = 10 \text{ mm} \rightarrow D > 500 \rightarrow 13 \text{ mm} \quad \text{Dipakai diameter 10 mm}$$

$$\text{Cek } d_s \rightarrow d_s \geq d_{s,\min} \rightarrow 13 \geq 10 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

H. Spasi Maksimum Zona Confinement

Jarak Tulangan dari Pusat Penampang (r_b)

$$= \frac{D}{2} - c_c - d_s - \frac{d_s}{2} = \frac{400}{2} - 75 - 13 - \frac{13}{2} = 102,5 \text{ mm}$$

$$\text{Sudut 2 Tulangan Terdekat } (\theta) = \frac{360}{n} = \frac{360}{5} = 72^\circ$$

Jarak Antar Tulangan (h_x)

$$= 2 \times r_b \times \frac{\sin(\theta)}{2} = 2 \times 102,5 \times \sin 72 = 120,496 \text{ mm}$$

$$S_{\max,1} = \frac{D}{4} = \frac{400}{4} = 100 \text{ mm} \rightarrow \textit{minimum}$$

$$S_{\max,2} = 6 \times d_b = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$S_{\max,3} = 100 \leq 100 + \frac{(350-h_x)}{3} \leq 150$$

$$= 100 \leq 100 + \frac{(350 - 120,496)}{3} \leq 150$$

$$= 100 \leq 150 \leq 176,51$$

$$S_{\max} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Spasi} \rightarrow Spasi \leq S_{\max} \rightarrow 100 \leq 100 \rightarrow \text{OK!}$$

I. Spasi Maksimum Luar Zona Confinement

$$S_{\max,1} = \frac{D}{2} = \frac{400}{2} = 200 \text{ mm} \rightarrow \textit{minimum}$$

$$S_{\max,2} = 12 \times d_b = 12 \times 19 = 228 \text{ mm}$$

$$S_{\max,3} = 300$$

$$S_{\max} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Spasi} \rightarrow Spasi \leq S_{\max} \rightarrow 150 \leq 200 \rightarrow \text{OK!}$$