

BAB 2

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Preliminary Design

Pada bab ini disajikan secara lengkap proses desain struktur Pondok Pesantren Assalafiyah Sleman. Struktur terdiri dari 3 lantai yang didesain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Elemen yang ada pada bangunan yaitu lantai, balok, kolom dan didesain menggunakan material baja. Sedangkan struktur bawah pada Pondok Pesantren Assalafiyah menggunakan balok slof beton bertulang dan fondasi *bored pile* atau tiang bor. Pada rancangan ada 2 gedung yaitu gedung depan (Gedung A) dan gedung belakang (Gedung B).

2.1.1 Peraturan dan Standar Perancangan

Pada perhitungan bangunan tersebut merujuk kepada peraturan dan standar perencanaan di Indonesia yaitu:

1. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729:2015).
2. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013).
3. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019).
4. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019).
5. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013).

2.1.2 Spesifikasi Material Struktur

Spesifikasi material yang digunakan pada pekerjaan ini sebagai berikut:

1. Baja Profil
 - a. Baja profil yang digunakan adalah BJ 37 dengan tegangan leleh, $f_y = 240$ MPa dan tegangan *ultimit*, $f_u = 370$ MPa
 - b. Modulus Elastis baja, $E_s = 200.000$ Mpa
2. Beton
 - a. Kuat tekan beton pada umur 28 hari, $f_c' = 30$ Mpa (struktur bawah)
 - b. Modulus elastis beton, $E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 23500$ MPa
3. Baja Tulangan
 - a. Baja tulangan dengan $D > 32$ mm, digunakan baja tulangan ulir (*deform*) dengan tegangan leleh, $f_y = 420$ MPa
 - b. Baja tulangan dengan $D \leq 13$ mm, digunakan baja tulangan polos dengan tegangan lele, $f_y = 280$ MPa
 - c. Modulus elastis beton, $E_s = 200.000$ Mpa
4. Bata Ringan dengan berat material : 800 kg/m^3 .

2.2 Metode Perencanaan Struktur

2.2.1 Sistem Struktur

Struktur Pondok Pesantren Assalafiyah terdiri atas pelat lantai, balok anak, balok induk, kolom dari bahan beton bertulang. Struktur pelat beton bertulang menggunakan sistem konvensional, yaitu pelat dua arah yang ditumpu di tepinya oleh balok beton bertulang. Sistem struktur penahan beban lateral terdiri atas balok-balokan pelat sebagai rangka portal arah-X dan arah-Y. Sehingga struktur Pondok Pesantren Assalafiyah didesain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Beton Bertulang ($R=8$) dengan kolom dan balok sebagai penahan momen sesuai yang diisyaratkan oleh SNI yang berlaku.

2.2.2 Model Struktur

Proses desain struktur dibuat berdasar pada gaya dalam yang ada pada elemen struktur akibat beban ultimit bekerja. Gaya dalam didapatkan dari permodelan struktur yang menggunakan model tiga dimensi (*3D Models*). Sedangkan untuk elemen batang (*frame*) digunakan untuk mengidealisasikan balok dan kolom serta pelat lantai diidealisasikan sebagai *deck*.

2.2.3 Kinerja Batas Ultimit

Pada kinerja batas ultimit digunakan kombinasi beban ultimit untuk menganalisis gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur. Gaya-gaya dalam tersebut selanjutnya digunakan dalam proses desain elemen struktur seperti pelat, balok, kolom, fondasi, dll. Kinerja batas ultimit akan menentukan keamanan struktur dalam mendukung beban rencana ultimit yang bekerja pada struktur.

2.3 Penentuan Beban Struktur

Sebagai sebuah bangunan harus direncanakan sesuai peruntukannya untuk mampu menahan berbagai macam beban agar berdiri kokoh. Beban – beban yang ditopang setiap gedung berbeda massanya sesuai peruntukan gedung tersebut, untuk penjelasan mengenai beban sebagai berikut:

2.3.1 Beban Rencana

a. Beban Gravitasi

Beban gravitasi ditetapkan pada SNI 1727: 2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Beban gravitasi dalam desain struktur sekolah/ gedung pendidikan meliputi berat sendiri struktur/ *Dead Load* (DL), beban mati tambahan/ *Additional Dead Load* (ADL), dan beban hidup/ *Live Load* (LL).

1) Berat Sendiri Struktur (DL)

Definisi tersendiri dari *Dead Load* yaitu berat masing-masing elemen seperti pelat lantai, balok, dan kolom seperti yang ada pada bangunan ini yang notabenehnya menjadi struktur utama dalam bangunan.

2) Beban Mati Tambahan (ADL)

Untuk *Additional Dead Load* memiliki arti beban tambahan yang ada karena penggunaan komponen non-struktural (arsitektural dan MEP) yang ada pada struktur utama bangunan, berikut uraiannya:

a) Beban mati tambahan pada pelat lantai

1. Pasir (tebal 4 cm)	= 0,04 x 17	= 0,68 kN/m ²
2. Spesi (tebal 2 cm)	= 0,02 x 20	= 0,4 kN/m ²
3. Penutup Lantai (tebal 1 cm)	= 0,01 x 24	= 0,24 kN/m ²
4. Plafond dan Penggantung		= 1 kN/m ²
5. Instalasi MEP		= 0,25 kN/m ²
Total Beban Mati Tambahan		= 2,57 kN/m ²

b) Beban mati tambahan pada balok

1. Dinding (tinggi efektif 4m)	= 4 x 0,15	= 0,6 kN/m ²
--------------------------------	------------	-------------------------

3) Beban Hidup (LL)

Live Load dapat diartikan beban yang terjadi dikarenakan adanya penggunaan struktur bangunan. Beban hidup tersebut bisa disebabkan oleh orang/ barang yang berpindah tempat. Sekolah atau gedung pendidikan termasuk dalam kategori ruang publik yang ada pada SNI 1727: 2013, maka:

1. Beban Hidup	= 4,79 kN/m ²
----------------	--------------------------

2.3.2 Beban Gempa

Beban gempa merupakan Beban yang diakibatkan oleh gempa yang terjadi pada lokasi bangunan, yang mana ditetapkan berdasarkan SNI 1726: 2019, kategori risiko bangunan. Dalam SNI 1726: 2019 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. Langkah-langkah perhitungan beban gempa diuraikan sebagai berikut:

1) Menentukan Kategori Resiko bangunan (I - IV)

Kategori risiko bangunan ditentukan berdasarkan fungsi operasional/jenis pemanfaatan dari suatu bangunan. Dalam SNI 1726:2019, kategori risiko bangunan dibedakan menjadi 4 jenis yaitu kategori risiko I, II, III, dan IV (lihat Tabel 2.1). Dalam pekerjaan ini, struktur Pondok Pesantren

Assalafiyah masuk dalam kategori “Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan” yaitu kategori IV.

Tabel 2. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil I 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung 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</p>	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
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.	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.</p>	IV

Sumber: SNI 1726:2012

2) Menentukan Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Faktor keutamaan gempa ditentukan dari kategori resiko bangunan. Dalam Tabel 2.2 disajikan faktor keutamaan gempa (I_e) sesuai dengan SNI 1726: 2019. Pada bangunan ini, struktur gedung sekolah dan fasilitas pendidikan termasuk dalam kategori resiko bangunan IV sehingga faktor keutamaan gempa (I_e) ditetapkan sebesar 1,50.

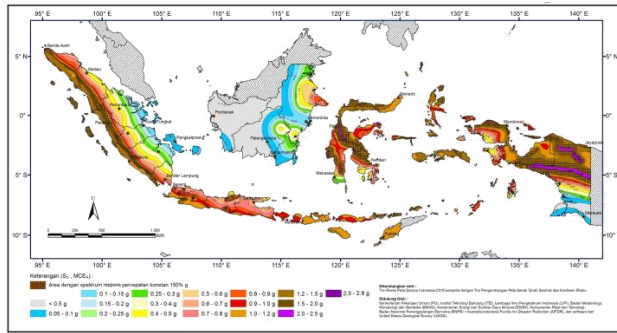
Tabel 2. 2 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber: SNI 1726:2012

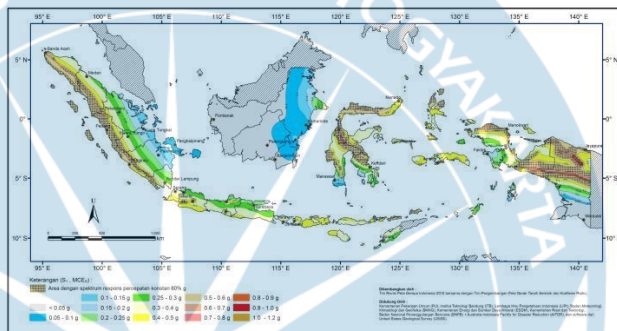
3) Menentukan Parameter Percepatan Tanah (S_s dan S_1)

Parameter percepatan tanah (S_s dan S_1) dipengaruhi oleh properti tanah pada lokasi proyek. Nilai S_s dan S_1 berguna untuk memperoleh respons spektrum percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, dimana S_s dan S_1 adalah parameter respons spectral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek dan periode 1,0 detik. Pada Gambar 3.1 dan 3.2 ditunjukkan nilai S_s dan S_1 untuk gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget MCE_R pada batuan dasar. Pada pekerjaan ini, lokasi bangunan berada di Kabupaten Sleman sehingga mendapatkan $S_s = 0,9951$ g dan $S_1 = 0,4634$ g.



Gambar 2. 1 Ss, Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCER) pada batuan dasar untuk periode dasar untuk periode pendek (0,2 detik)

Sumber SNI 1726: 2019



Gambar 2. 2 S1, Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCER) pada batuan dasar untuk periode dasar untuk periode pendek (1 detik)

Sumber SNI 1726: 2019

4) Menentukan Klasifikasi Situs (SA – SF)

Karakteristik lokasi proyek sangat penting berhubungan dengan adanya aspek geoteknik, sehingga harus diidentifikasi dengan baik dalam proses perencanaan melalui kegiatan penyelidikan lokasi proyek. Penyelidikan lokasi proyek ini yaitu dengan dilakukannya penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Selanjutnya hasil dari penyelidikan digunakan sebagai penentuan klasifikasi situs. Dalam SNI 1726 : 2019 klasifikasi situs dibedakan menjadi 6 jenis seperti yang tertera pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Klasifikasi Situs

Kelas situs	V_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (Tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (Tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 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: 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Berdasarkan hasil uji N-SPT yang dilakukan di lapangan, klasifikasi situs yang termasuk yaitu SE (tanah lunak). Data N-SPT selengkapnya dapat dilihat dalam laporan penyelidikan tanah.

5) Menentukan Koefisien Situs (F_a dan F_v)

Dalam menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik (F_a) dan 1 detik (F_v). Hal ini ditentukan dari kelas situs dan parameter percepatan tanah. Faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik (F_a) didapatkan dari kelas situs dan parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 0,2 detik (S_s). Begitu pula dengan Faktor amplifikasi pada periode 1 detik (F_v) didapatkan dari kelas situs dan parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik (S_1). Hal ini bisa diketahui berdasarkan tabel berikut ini.

Tabel 2. 4 Koefisien Situs, Fa

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S _s					
	S _s ≤0,25	S _s =0,5	S _s =0,75	S _s =1,0	S _s =1,25	S _s ≥ 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)					

Sumber: SNI 1726: 2019

Tabel 2. 5 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S ₁					
	S ₁ ≤0,1	S =0,2	S ₁ =0,3	S ₁ =0,4	S ₁ 0,5	S ₁ ≥0,6
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)					

Sumber: SNI 1726: 2019

Catatan:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S₁, dapat dilakukan interpolasi linier.
- (b) SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Berdasarkan Tabel 2.4 dan Tabel 2.5, untuk kelas situs SE (Tanah Lunak) didapatkan nilai Fa dan Fv berturut-turut 1 dan 1,7. Selanjutnya nilai Fa dan Fv tersebut digunakan untuk menentukan parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,097 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 0,851 \text{ g}$$

- 6) Menghitung Parameter Percepatan Desain (S_{DS} dan S_{D1})

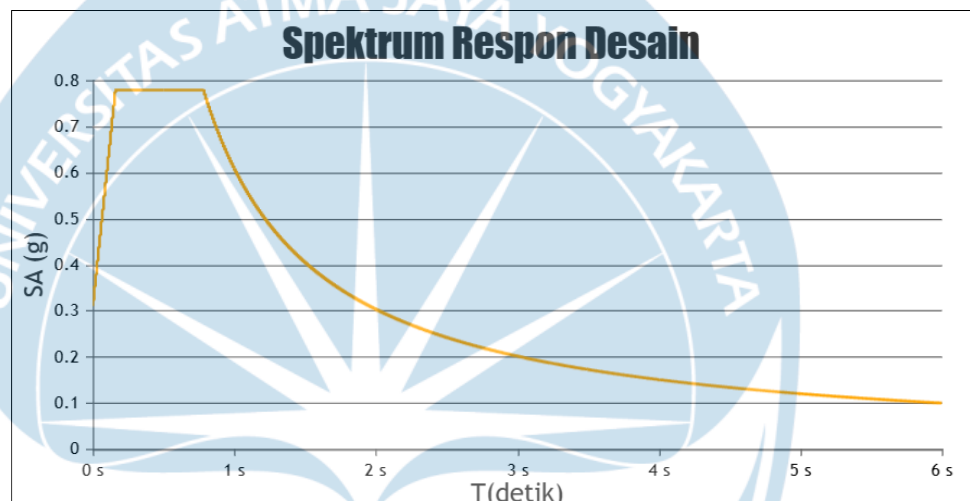
Pada langkah ini setelah S_{Ms} dan S_{M1} , Selanjutnya parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek 0,2 detik (S_{Ds}) dan periode 1 detik (S_{D1}) perlu ditetapkan untuk menyusun kurva respons spektra. Nilai S_{Ds} dan S_{D1} dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$S_{Ds} = 2/3 \times S_{Ms} = 0,731 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 0,567 \text{ g}$$

7) Menyusun Kurva Respon Spektra Desain

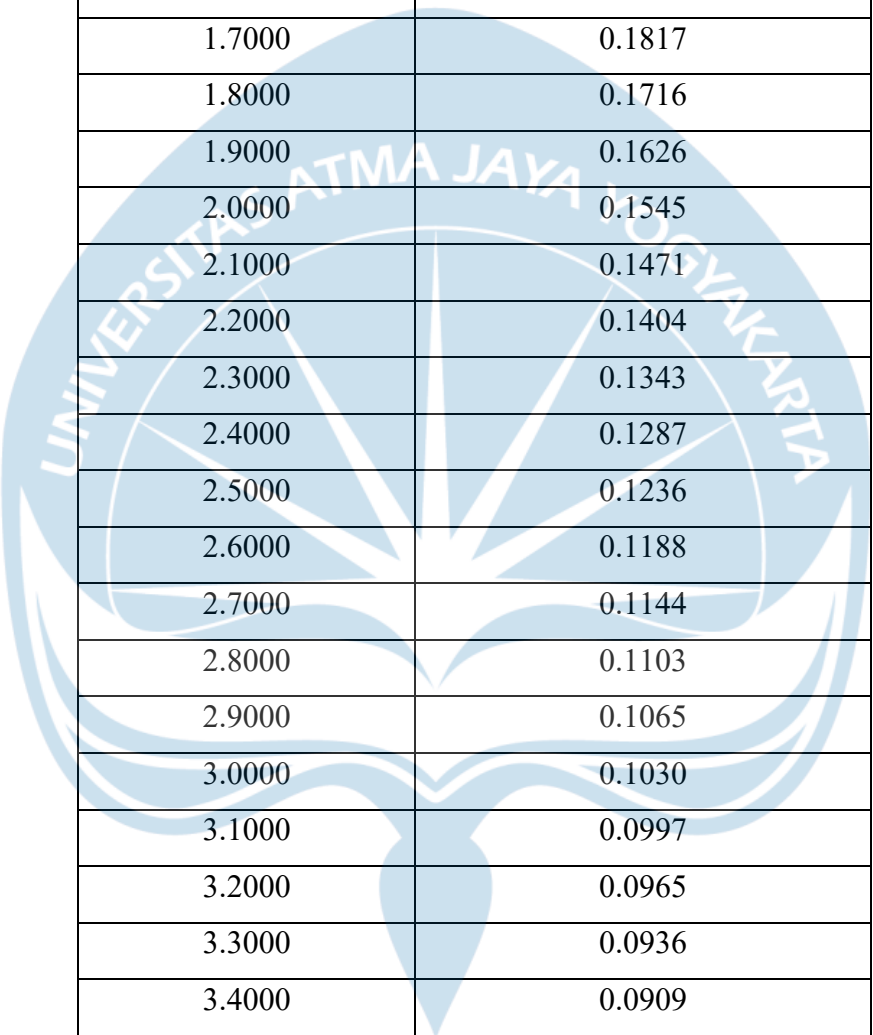
Setelah didapatkannya parameter respons yang dihitung pada tahapan sebelumnya, kurva respons spectra desain dapat disusun sebagai berikut :



Gambar 2. 3 Kurva Respons Spektra Desain

Tabel 2. 6 Nilai Periode dan Percepatan Respons Spektra

T	Sa
0.0000	0.2654
0.0931	0.6634
0.4657	0.6634
0.5000	0.6179
0.6000	0.5149
0.7000	0.4413
0.8000	0.3862
0.9000	0.3433
1.0000	0.3089
1.1000	0.2808



T	Sa
1.2000	0.2574
1.3000	0.2376
1.4000	0.2207
1.5000	0.2060
1.6000	0.1931
1.7000	0.1817
1.8000	0.1716
1.9000	0.1626
2.0000	0.1545
2.1000	0.1471
2.2000	0.1404
2.3000	0.1343
2.4000	0.1287
2.5000	0.1236
2.6000	0.1188
2.7000	0.1144
2.8000	0.1103
2.9000	0.1065
3.0000	0.1030
3.1000	0.0997
3.2000	0.0965
3.3000	0.0936
3.4000	0.0909
3.5000	0.0883
3.6000	0.0858
3.7000	0.0835
3.8000	0.0813
3.9000	0.0792
4.0000	0.0772
4.1000	0.0753

T	Sa
4.2000	0.0736
4.3000	0.0718
4.4000	0.0702
4.5000	0.0687
4.6000	0.0672
4.7000	0.0657
4.8000	0.0644
4.9000	0.0630
5.0000	0.0618
5.1000	0.0606
5.2000	0.0594
5.3000	0.0583
5.4000	0.0572
5.5000	0.0562

8) Menentukan Kategori Desain Seismik (KDS: A – F)

Struktur yang didesain harus tetap ditetapkan termasuk dalam kategori desain seismik (KDS) sesuai dengan Pasal 6.5 SNI 1726: 2019. Berikut tabel 3.7 dan 3.8 memuat isi dari kategori desain seismik yang didasarkan pada hubungan S_{Ds} dan S_{D1} dengan KDS.

Tabel 2. 7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

Tabel 2. 8 Kategori desasin seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	C	B
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	D	C
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726: 2019

Pada perencanaan bangunan ini berdasarkan Tabel 2.7 dan Tabel 2.8, maka diperoleh Kategori Desain Seismik D.

- 9) Menentukan Sistem dan Parameter Struktur (R , C_d , Ω_o)
 Sistem struktur penahan gaya gempa diizinkan untuk ditetapkan berbeda pada masing-masing sumbu ortogonal struktur. Parameter R , C_d , Ω_o untuk setiap tipe sistem struktur penahan gaya gempa disajikan pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 R, Cd, Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem pemikul gaya seismik		Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0	Faktor pembesaran defieksi, Cd	Batasan sistem struktur dan batan tinggi struktur,				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D	E	F
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	TB	TB	TB
4.	Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI'	TI'	TI'
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	½	TB	TI	TI	TI	TI
8.	Rangka Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus baja dan beton komposit pemikul momen khusus	4	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	3½	3°	3½	10	10	10	10	10

Sumber: SNI 1726: 2019

Sistem struktur penahan gaya gempa yang digunakan pada fasilitas pendidikan yaitu SRPMK sehingga diperoleh parameter struktur sebagai berikut :

$$R = 8$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_o = 3$$

10) Mengevaluasi Sistem Struktur Terhadap Ketidakberaturan Struktur

Dalam proses desain, struktur harus ditentukan sebagai struktur beraturan atau struktur tidak beraturan dengan bermuara dari Pasal 7.3.2 SNI 1726:2019. Ketidakberaturan struktur dibedakan menjadi horizontal dan vertikal, untuk lebih terperinci bisa dilihat pada Tabel 2.10. berikut:

Tabel 2. 10 Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan Horizontal Struktur

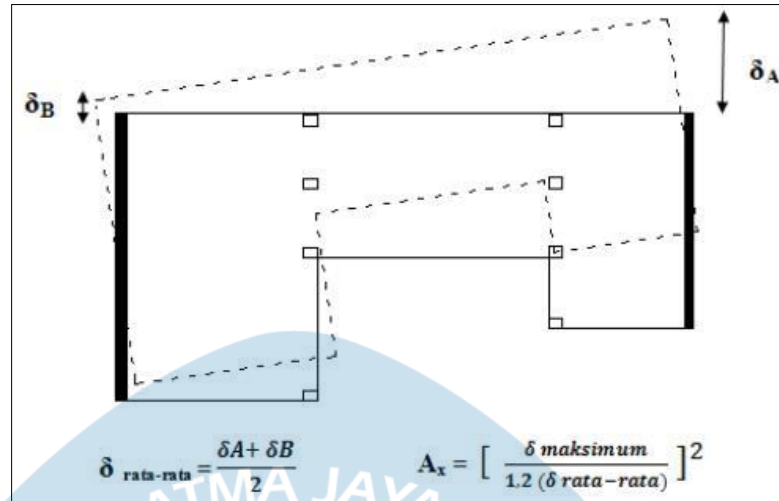
Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan		Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Pesyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	D, E, F B, C, D, E, F C, D, E, F C, D, E, F D, E, F B, C, D, E, F
1b	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	E, F D B, C, D C, D C, D D B, C, D
2	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, F D, E, F

Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan		Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, F D, E, F
4	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3	B, C, D, E, F D, E, F B, C, D, E, F
5	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa	7.5.3 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	C, D, E, F B, C, D, E, F D, E, F B, C, D, E, F

Sumber: SNI 1726: 2019

Berikut akan disajikan perhitungan pengecekan dari ketidakberaturan horizontal struktur:

1a. Ketidakberaturan torsi, memiliki arti jika simpangan antar lantai tingkat maksimum (torsi yang dihitung termasuk torsi tidak terduga) di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur yang diafragmanya kaku (*rigid*) atau setengah kaku (*semi-rigid*).



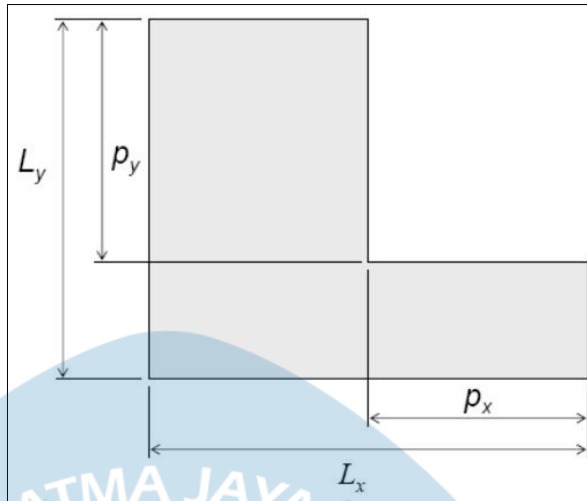
Gambar 2. 4 Ilustrasi pengecekan ketidakberaturan tipe 1a dan 1b

Sumber: SNI 1726: 2019

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan torsi, diperoleh hasil simpangan antar lantai tingkat maksimum pada arah X dan Y kurang dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata sehingga tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe i pada struktur yang ditinjau.

1b. Ketidakberaturan torsi berlebihan, diartikan jika ada simpangan antar lantai tingkat maksimum (torsi yang dihitung termasuk torsi tidak terduga) di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Pada Gambar 2.4. Persyaratannya yaitu dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur yang diafragmanya kaku (*rigid*) atau setengah kaku (*semi-rigid*). Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan torsi berlebihan, didapatkan hasil bahwa simpangan antar lantai tingkat maksimum pada arah X dan Y kurang dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata sehingga tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe ii pada struktur yang ditinjau.

2. Ketidakberaturan sudut dalam, didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan seperti pada Gambar 2.5.

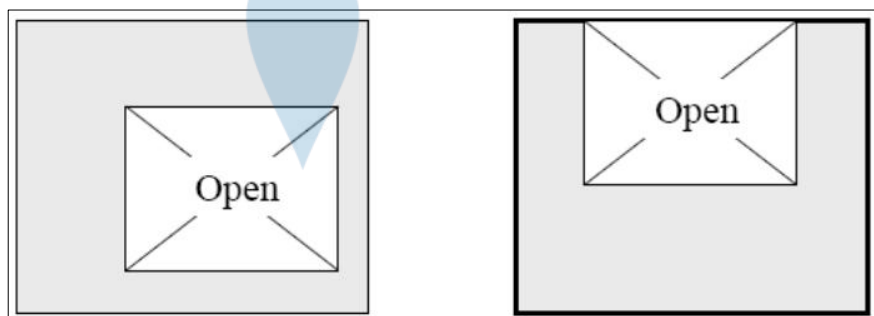


Gambar 2. 5 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2

Sumber: SNI 1726: 2019

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan sudut dalam, didapatkan hasil bahwa kedua proyeksi denah struktur dalam kurang dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan sehingga tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 2 pada struktur yang ditinjau.

3. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma, didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang memiliki daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya Gambar 2.6.

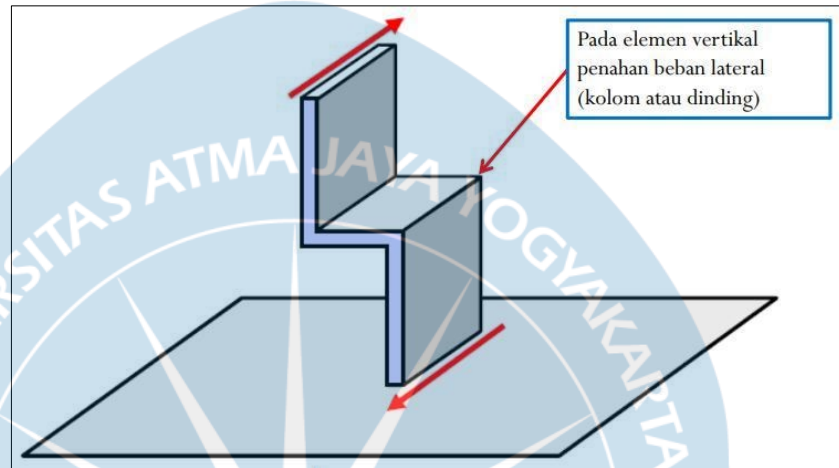


Gambar 2. 6 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3

Sumber: SNI 1726: 2019

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan sudut dalam, diperoleh hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 3 pada struktur yang ditinjau.

4. Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang, diartikan sebagai jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertical Gambar 2.7.

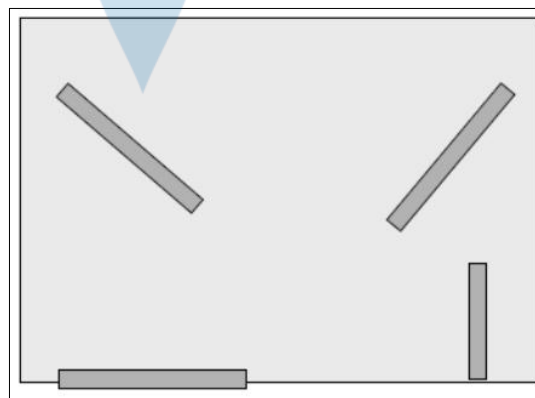


Gambar 2. 7 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4

Sumber: SNI 1726: 2019

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan sudut dalam, diperoleh hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 4 pada struktur yang ditinjau.

5. Ketidakberaturan sistem nonparallel, didefinisikan ada jika elemen penahan vertikal tidak parallel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan seismik Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5

Sumber: SNI 1726: 2019

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan sudut dalam, diperoleh hasil tak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 5 pada struktur.

Tabel 2. 11 Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan Vertikal Struktur

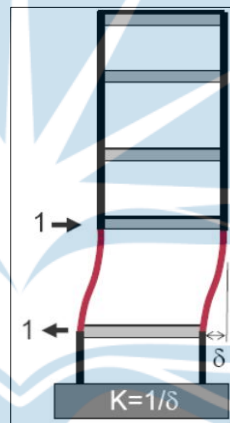
Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan		Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak, didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata 3 tingkat di atasnya	Tabel 13	D, E, F
1b	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan, didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70%	7.3.3.1 Tabel 13	E, F D, E, F
2	Ketidakberaturan berat (massa), didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau	Tabel 13	D, E, F
3	Ketidakberaturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya	Tabel 13	D, E, F
4	Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 13	B, C, D, E, F D, E, F D, E, F
5a	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau	7.3.3.1 Tabel 13	E, F D, E, F
5b	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 13	D, E, F B, C, D, E, F

Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau		

Sumber: SNI 1726: 2019

Berikut disajikan hasil perhitungan dan pengecekan terhadap ketidakberaturan vertikal struktur :

1a. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak, didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata 3 tingkat di atasnya Gambar 2.9. Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak, didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 1a pada struktur yang ditinjau.



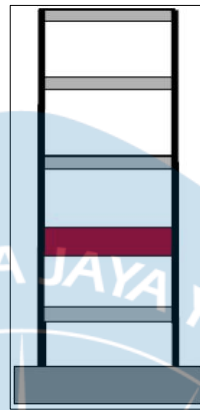
Gambar 2. 9 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a, 1b

Sumber: SNI 1726: 2019

1b. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan, diartikan sebagai bila ada suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata 3 tingkat di atasnya. Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan, didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertika tipe 1b pada struktur yang ditinjau.

2. Ketidakberaturan berat (massa), didefinisikan ada jika efektif semua tingkat lebih dari 150% efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan

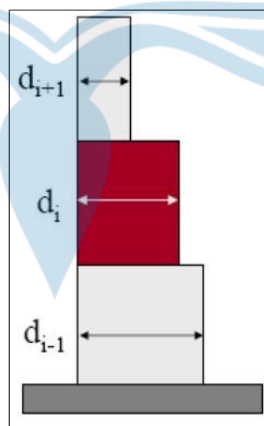
dari pada lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau Gambar 2.10. Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan berat (massa), didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 2 pada struktur yang ditinjau.



Gambar 2. 10 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2

Sumber: SNI 1726: 2019

3. Ketidakberaturan geometri vertikal, didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan seismik di semua tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem penahan seismik tingkat di dekatnya. Didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 3 pada struktur yang ditinjau.

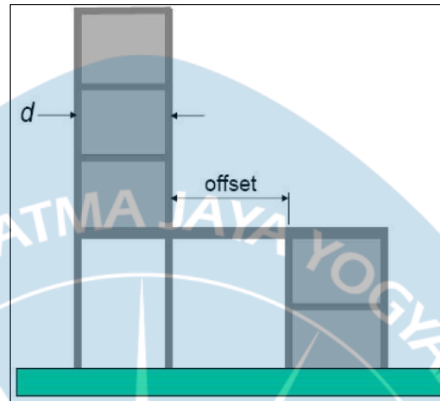


Gambar 2. 11 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3

Sumber: SNI 1726: 2019

4. Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal, diartikan jika pergeseran arah bidang elemen penahan lateral

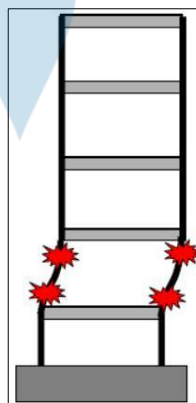
lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya. Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal, didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 4 pada struktur.



Gambar 2. 12 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4

Sumber: SNI 1726: 2019

5a. Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat, didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau pada Gambar 2.13. Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat, didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 5a pada struktur yang ditinjau.



Gambar 2. 13 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a 5b

Sumber: SNI 1726: 2019

5b. Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan, didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau pada Gambar 2.13. Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan, didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 5b pada struktur yang ditinjau.

11) Menentukan Fleksibilitas Difragma

Untuk struktur yang mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal, diafragma harus dimodelkan sebagai semi-rigid. Dalam pekerjaan ini, struktur gedung pendidikan tidak memiliki ketidakberaturan struktur horizontal sehingga diafragma dimodelkan sebagai diafragma rigid

12) Menentukan Faktor Redundansi (ρ)

Faktor redundansi (ρ) harus dikenakan pada sistem struktur penahan gaya gempa pada masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur sesuai dengan Pasal 7.3.4 SNI 1726:2019. Nilai ρ dapat diambil sama dengan 1,0 jika masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar pada arah yang ditinjau harus memenuhi persyaratan Tabel 2.12.

Tabel 2. 12 Persyaratan Untuk Masing-Masing Tingkat Yang Menahan Lebih Dari 35% Gaya Geser Dasar

Elemen Penahan	Persyaratan Gaya Lateral
Rangka dengan bresing	Pelepasan bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar lebih dari 33%, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1b)
Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen di sambungan balok ke kolom di kedua ujung balok tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33%, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai

Elemen Penahan	Persyaratan Gaya Lateral
	ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1b)
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0	Pelepasan dinding geser atau pier dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0 di semua tingkat, atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33%, atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1b)
Kolom kantilever	Kehilangan tahanan momen di dasar sambungan dasar semua kolom kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33%, atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1b)
Lainnya	Tidak ada persyaratan

Sumber: SNI 1726: 2019

Ketentuan lain yang mengizinkan ρ dapat diambil sama dengan 1,0 adalah jika struktur dengan denah teratur di semua tingkat asalkan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat untuk konstruksi rangka ringan. Jika kondisi tersebut tidak dipenuhi maka, ρ harus diambil sama dengan 1,3. Dalam pekerjaan ini, faktor redundansi yang digunakan adalah 1,3.

13) Memilih Prosedur Analisis Gaya Lateral/ Gempa (ELF, RS, TH)

Beban gempa yang diatur dalam SNI 1726:2012 dapat dikerjakan melalui 3 jenis prosedur analisis yaitu analisis gaya lateral ekuivalen (*equivalent lateral forces*), analisis spektrum respons raga (*respons spectra*), dan prosedur riwayat respons seismik (*time history*). Prosedur analisis beban gempa yang diizinkan untuk digunakan dipengaruhi oleh kategori desain seismik dan

karakteristik struktur seperti yang disajikan dalam Tabel 2.13. Berdasarkan Tabel 2.13, dalam pekerjaan ini diizinkan untuk menggunakan analisis spektrum respons ragam sebagai prosedur analisis beban gempa.

Tabel 2. 13 Prosedur Analisis Yang Boleh Digunakan

Kategori Desian Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen (pasal 7.8)	Analisis Respons Spektrum Ragam (pasal 7.9)	Prosedur Riwayat Respons Seismik (pasal 7.10)
B, C	Bangunan dengan kategori risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan kategori risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau I dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan kategori risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Struktur beraturan dengan $T < 3,5 T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan	I	I	I
	Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5 T_s$ dan mempunyai hanya ketidakberaturan horizontal tipe 2, 3, 4, atau 5 dari Tabel 10	I	I	I

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen (pasal 7.8)	Analisis Respons Spektrum Ragam (pasal 7.9)	Prosedur Riwayat Respons Seismik (pasal 7.10)
	atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a, atau 5b dari Tabel 11			
		TI	I	I

Sumber: SNI 1726: 2019

14) Menghitung beban gempa dengan prosedur gaya lateral ekuivalen (ELF)

Prosedur analisis gaya lateral ekuivalen (ELF) didasarkan pada respons ragam pertama (*first modes*). Prosedur analisis ini berlaku hanya untuk struktur regular dengan $T < 3,5 T_s$ (dimana $T_s = SD1/SDS$), kekakuan tingkat-tingkat yang berdekatan tidak berbeda lebih dari 30%, kekuatan tingkat-tingkat yang berdekatan tidak berbeda lebih dari 20%, dan massa pada tingkat-tingkat yang berdekatan tidak berbeda lebih dari 50%. Jika hal tersebut tidak dipenuhi maka harus digunakan prosedur analisis dinamik yaitu analisis spektrum respons ragam atau prosedur riwayat waktu. Secara umum besar gaya gempa yang dihasilkan oleh prosedur analisis ELF adalah fungsi dari berat seismik efektif (W_t) dan koefisien respons seismik (C_s). Selanjutnya gaya gempa tersebut didistribusikan ke setiap tingkat dari struktur gedung yang akan didesain. Gaya gempa hasil dari prosedur analisis ELF perlu dihitung karena jika digunakan prosedur analisis dinamik, gaya gempa yang dihasilkan perlu dibandingkan dengan gaya gempa hasil dari prosedur analisis ELF. Langkah perhitungan gaya gempa dengan prosedur analisis ELF disajikan sebagai berikut :

a) Menentukan Periode Fundamental Alami Struktur (T)

Periode fundamental alami struktur akan menentukan nilai koefisien respons seismik (C_s) yang juga akan menentukan nilai gaya geser dasar seismik (VELF). Jika periode struktur yang lebih akurat (T_c) tidak dimiliki maka periode struktur yang digunakan dapat diambil sebesar T_a . Periode fundamental pendekatan (T_a) ditentukan dengan berdasarkan persamaan: $T_a = C_t \cdot h_n$. Dimana h_n adalah ketinggian struktur

(dalam m), Sama dengan koefisien C_t dan x ditentukan berdasarkan Tabel 2.14.

Tabel 2. 14 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 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	0,9
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,8
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

Sumber: SNI 1726: 2019

Nilai koefisien untuk batas atas periode struktur yang dihitung (C_u) ditetapkan berdasarkan Tabel 2.15.

Tabel 2. 15 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Tipe Struktur	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

Sumber: SNI 1726: 2019

Pada pekerjaan ini, tipe struktur yang digunakan adalah rangka baja pemikul momen khusus sehingga didapatkan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$. Selanjutnya berdasarkan nilai $SD1 = 0,567$ g didapatkan koefisien $C_u = 1,4$. Sehingga didapatkan nilai $T_a = 0,565$ detik dan $C_u \cdot T_a = 0,791$ detik. Sehingga periode struktur yang digunakan dalam analisis beban gempa dengan prosedur ELF adalah 0,535 detik.

b) Menentukan Koefisien Respons Seismik (C_s)

Koefisien respons seismik (C_s) ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$C_s = S_{DS} / (R / I_e)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan di atas tidak perlu melebihi nilai C_s yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_s = S_{D1} / (T \times (R / I_e))$$

Namun nilai C_s harus tidak boleh kurang dari C_s yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e = 0,01$$

Pada pekerjaan ini, hasil perhitungan koefisien respons seismik (C_s) adalah sebagai berikut:

$$C_s = S_{DS} / (R / I_e) = 0,1371$$

$$C_s = S_{D1} / (T \times (R / I_e)) = 0,1883$$

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e = 0,01 = 0,0482$$

c) Menentukan Berat Seismik Efektif (W)

Berat seismik efektif struktur (W) harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang termasuk dalam daftar berikut ini:

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25% beban hidup lantai (beban hidup lantai di garasi publik dan struktur parkir terbuka, serta beban penyimpanan yang tidak melebihi 5% dari berat seismik efektif pada suatu lantai, tidak perlu disertakan)
2. Jika ketentuan untuk partisi disyaratkan dalam desain beban lantai: diambil sebagai yang terbesar diantara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar 0,48 kN/m²
3. Berat operasional total dari peralatan yang permanen
4. Berat lanskap dan beban lainnya pada taman atap dan luasan sejenis lainnya

Dalam pekerjaan ini, berdasarkan hasil perhitungan didapatkan berat seismik efektif (W_A) = 4631.7571kN dan W_b = 2592.87 kN

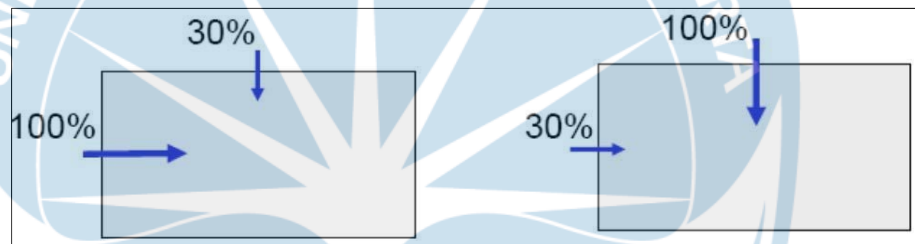
d) Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik (V_{ELF})

Gaya geser dasar seismic dapat dihitung dengan operasi perkalian antara koefisien respon seismic (C_s) dengan berat seismik efektif struktur

$$(W). V_a = 666,97 \text{ kN dan } V_b = 373,73 \text{ kN}$$

15) Menghitung Dan Menambahkan Beban Ortogonal (Jika Disyaratkan)

Penambahan beban ortogonal dikerjakan dengan cara memberikan beban tambahan sebesar 30% dari beban lateral utama, tegak lurus terhadap arah beban utama yang ditinjau Gambar 2.14. Beban ortogonal perlu ditambahkan dan belaku pada struktur dengan kategori desain seismic C, D, E, dan F. Pada pekerjaan ini, struktur termasuk dalam kategori desain seismic D sehingga penambahan beban ortogonal perlu dilakukan. Penambahan ini diakomodasi dalam kombinasi beban rencana.

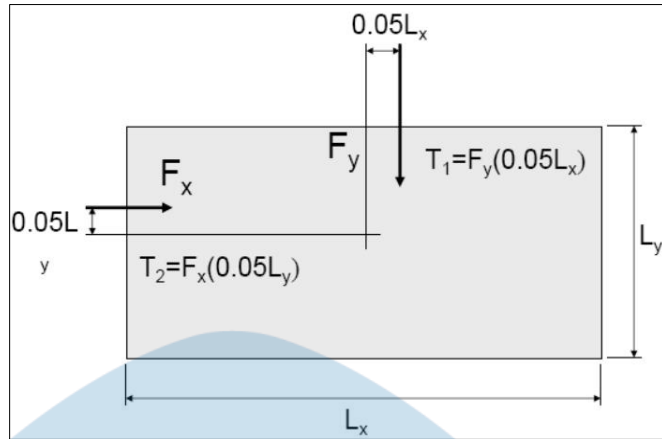


Gambar 2. 14 Beban Ortogonal

Sumber: FEMA 451B

16) Menghitung Dan Menambahkan Beban Torsi (Jika Disyaratkan)

Struktur gedung untuk semua kategori desain seismic (KDS) harus mempertimbangkan torsi rencana dan torsi tak terduga. Torsi tak terduga dikerjakan pada model struktur dengan memberikan eksentrisitas sebesar 5% masing-masing pada arah sumbu X dan Y Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Torsi Tak Terduga

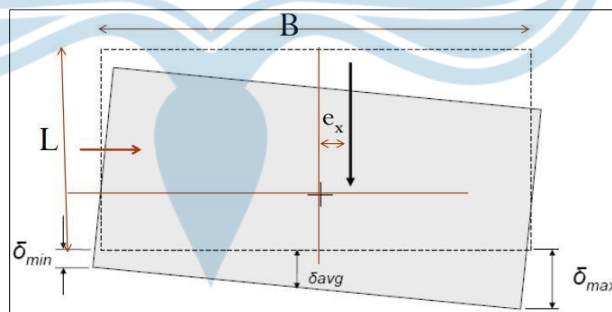
Sumber: FEMA 451B

Apabila struktur gedung termasuk dalam kategori desain seismik C, D, E, dan F serta memiliki ketidakberaturan torsi 1a dan 1b maka harus mempertimbangkan adanya pembesaran torsi tak terduga dapat dilihat pada Gambar 2.16. Pembesaran torsi tak terduga dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$e_x = e_{ox} + (0,05 B A_x)$$

$$e_y = e_{oy} + (0,05 L A_y)$$

dimana e_{ox} dan e_{oy} adalah eksentrisitas bawaan, sedangkan $0,05 B A_x$ dan $0,05 : A_y$ adalah eksentrisitas tak terduga.



Gambar 2. 16 Pembesaran torsi tak terduga

Sumber: FEMA 451B

Pada pekerjaan ini, struktur gedung termasuk dalam kategori desain seismik (KDS) D namun tidak terjadi ketidakberaturan torsi 1a dan 1b sehingga tidak perlu mempertimbangkan pembesaran torsi tak terduga (cukup mempertimbangkan torsi tak terduga dengan memberikan eksentrisitas sebesar 5% masing-masing pada arah sumbu X dan Y).

2.4 Kombinasi Beban Rencana

Kombinasi beban ultimit ditetapkan berdasarkan Pasal 4.2.2 SNI 1726 : 2019 (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2019) Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, yaitu sebagai berikut

1. $1,4DL$
2. $1,2DL + 1,6LL + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. $1,2DL + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2DL + 1,0W + 1,0LL + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5. $1,2DL + 1,0E + 1,0LL$
6. $0,9DL + 1,0W$
7. $0,9DL + 1,0E$

Untuk kombinasi beban nomor 5 dan 7 yang merupakan kombinasi beban gempa, diatur secara khusus dalam pasal 7.4 SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.

Untuk kombinasi beban lain ditetapkan berdasarkan berdasarkan Pasal 4.2.3 SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, yaitu sebagai berikut:

1. DL
2. $DL + LL$
3. $DL + (Lr \text{ atau } R)$
4. $DL + 0,75LL + 0,75 (Lr \text{ atau } R)$
5. $DL + (0,6W)$
6. $DL + 0,75 (0,6W) + 0,75LL + 0,75 (Lr \text{ atau } R)$
7. $0,6 DL + 0,6W$

dimana,

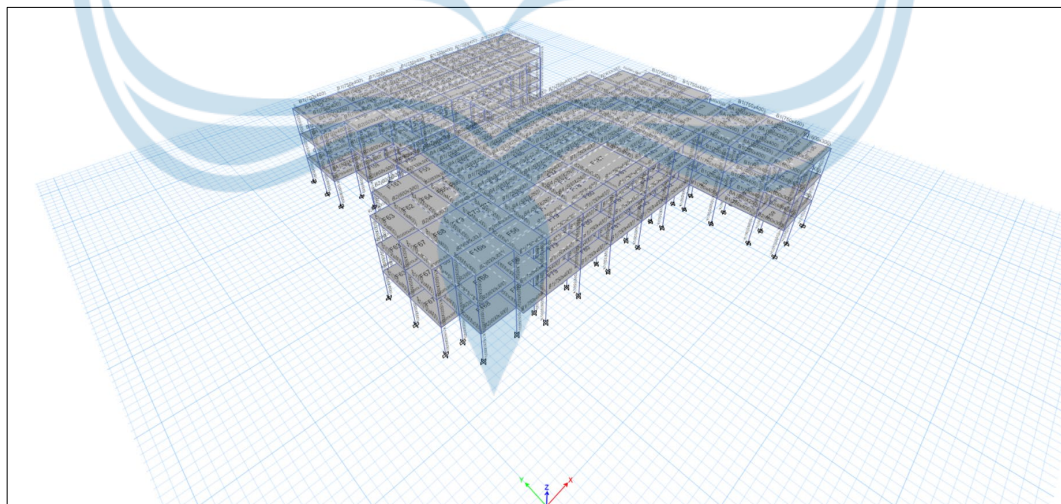
DL	= Beban mati (berat sendiri struktur dan beban mati tambahan)
LL	= Beban hidup
Lr	= Beban hidup pada struktur atap
R	= Beban hujan
W	= Beban angin
Ex	= Beban gempa arah x

- E_y = Beban gempa arah y
 ρ = Faktor redundansi
SDS = Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek 0,2s.

2.5 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur serta perilaku struktur akibat beban yang bekerja. Hasil dari pemodelan struktur digunakan sebagai dasar untuk mendesain dimensi penampang elemen struktur yang diperlukan. Model struktur dikerjakan dengan beberapa idealisasi. Sebagai contoh, pelat lantai diidealisasikan sebagai elemen *shell*, sedangkan balok dan kolom diidealisasikan sebagai elemen *frame*. Pemodelan struktur yang dilakukan mampu mengakomodasi pengaruh kerusakan baja ketika terjadi gempa yaitu melalui reduksi momen inersia penampang elemen struktur.

Struktur restoran didesain dengan menggunakan sistem struktur berupa struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Struktur tersebut dimodelkan dalam model 3 dimensi (3D Models) menggunakan bantuan *software*.



Gambar 2. 17 Model Struktur Pondok Pesantren Assalafiyah Gedung A dan Gedung B

1. Definisi Material

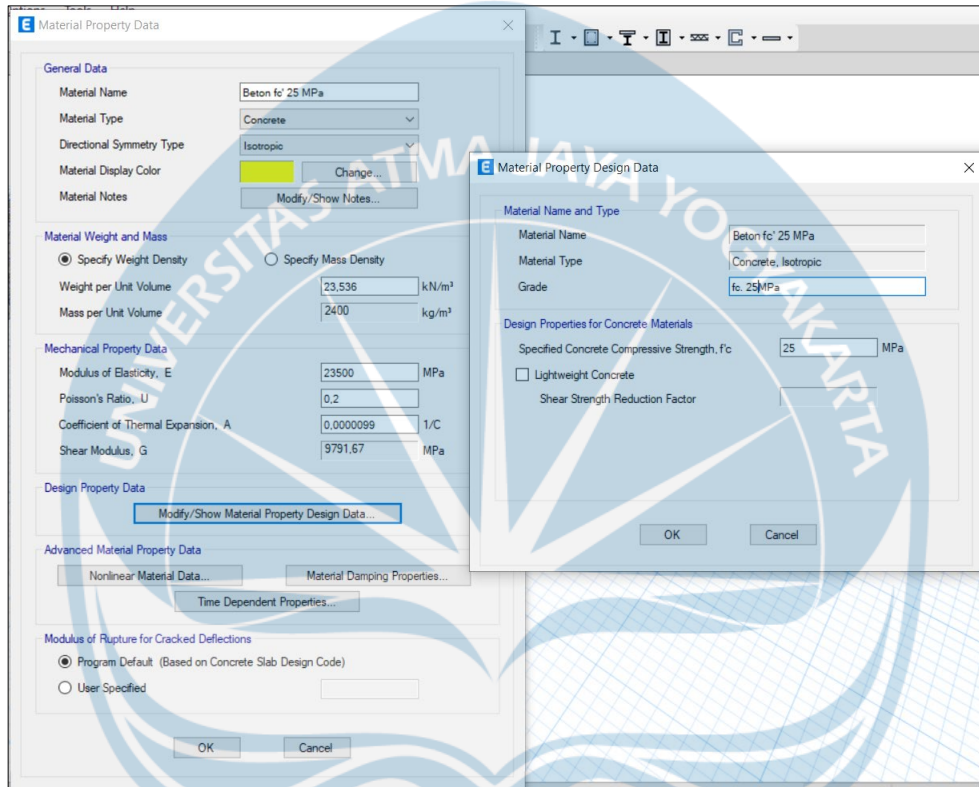
Material yang digunakan dalam Analisa Struktur adalah sebagai berikut:

Baja : f_y 240 MPa, f_u 370 MPa

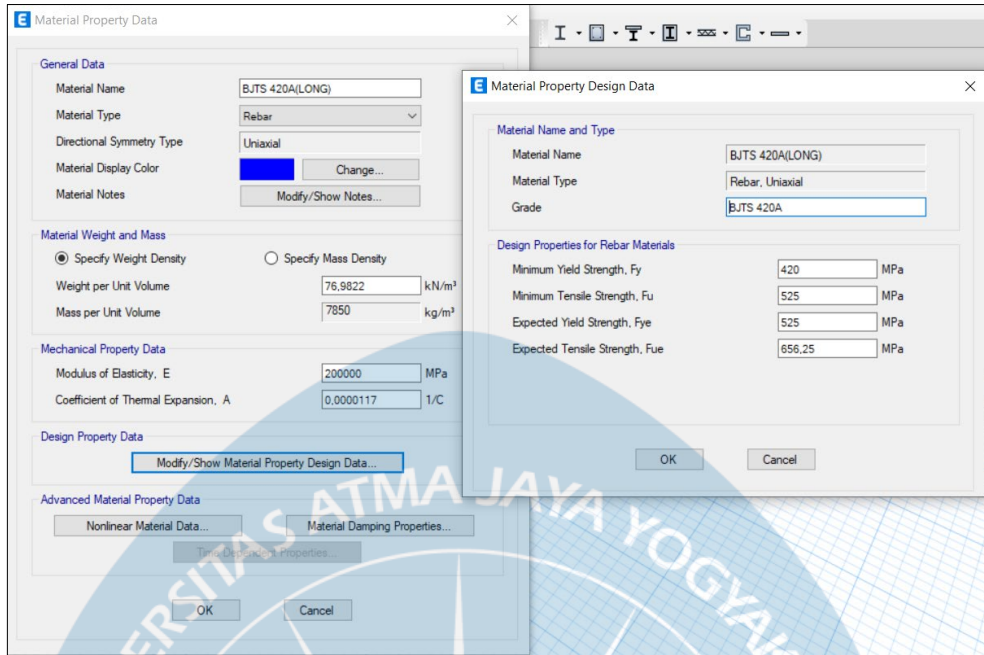
Beton : f_c '25 MPa

Baja Tulangan Ulir : f_y 280 MPa

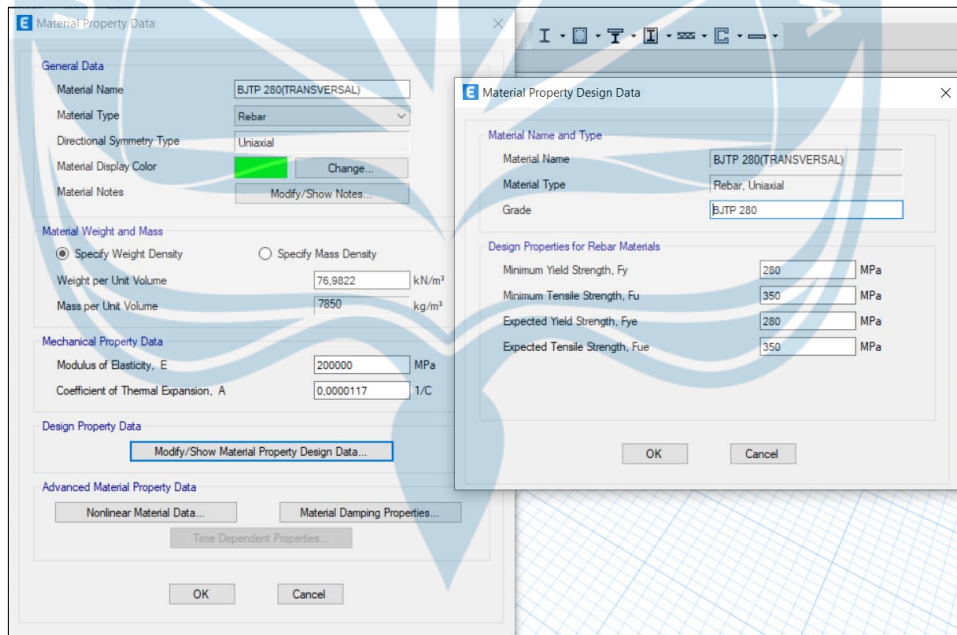
Baja Tulangan Polos : f_y 280 MPa



Gambar 2. 18 *Material Properties* (1)



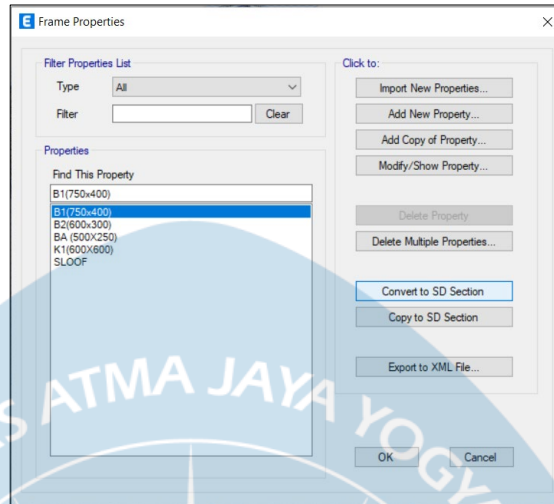
Gambar 2. 19 Material Properties (2)



Gambar 2. 20 Material Properties (3)

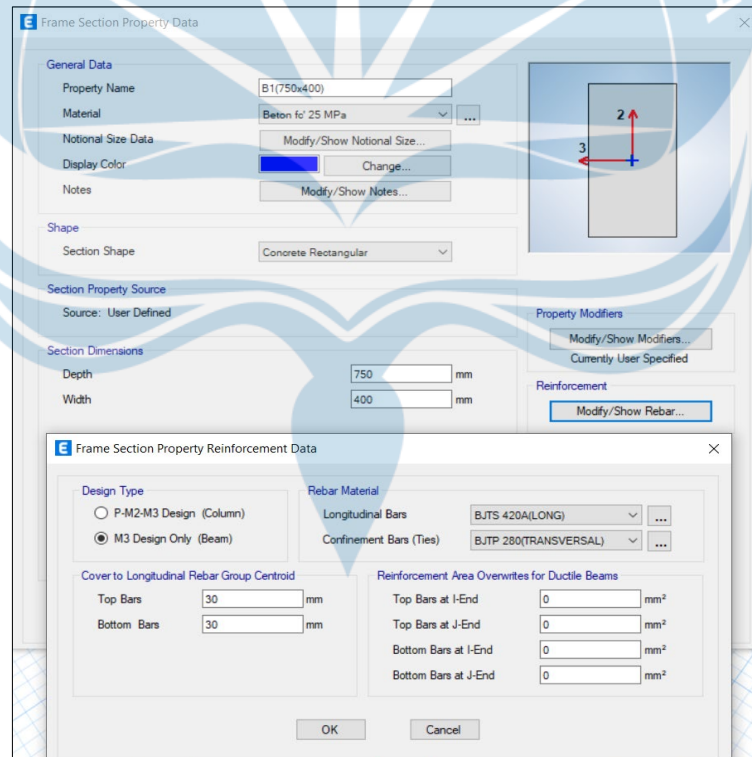
2. Definisi Profil Balok dan Kolom

Penampang balok dan kolom di definisikan sebagai berikut:

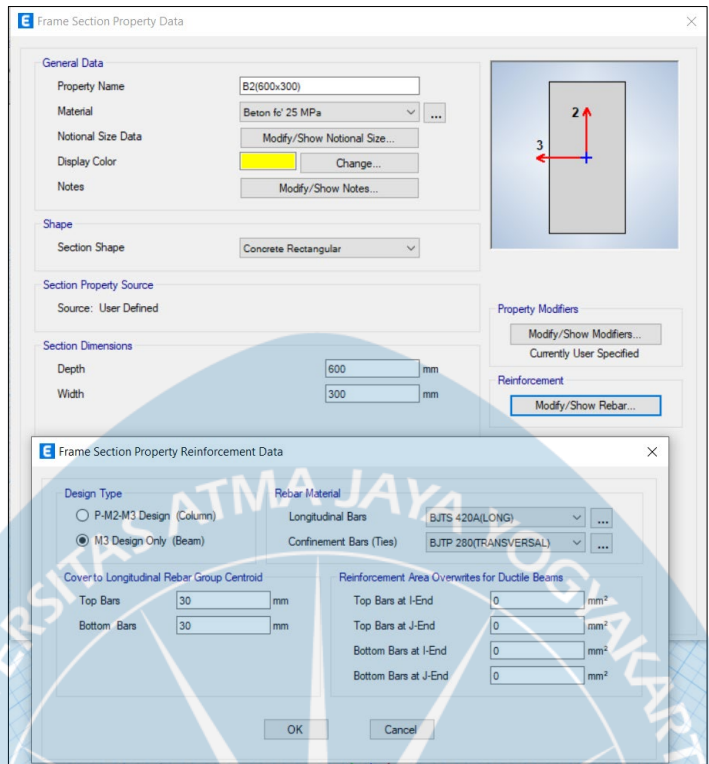


Gambar 2. 21 Section Properties

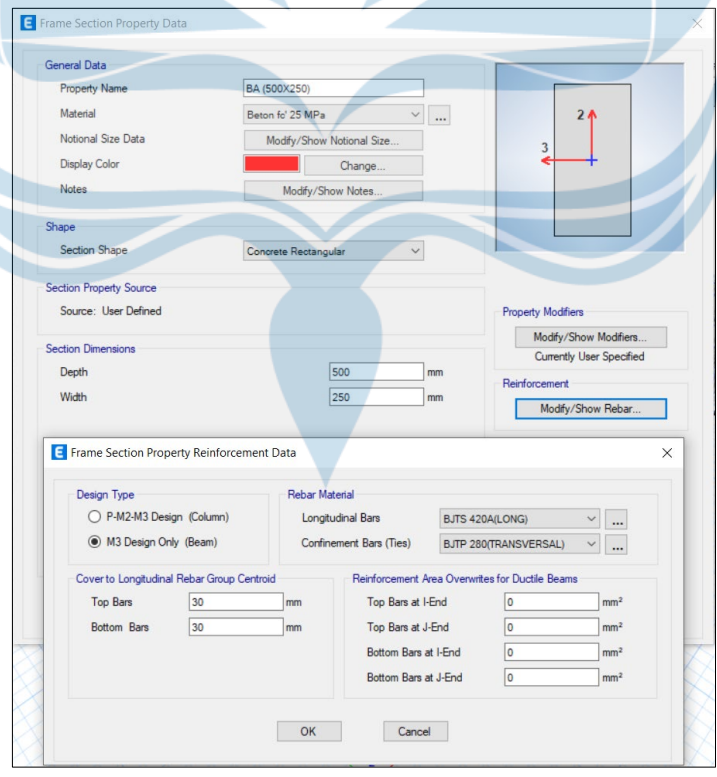
Beberapa Section Properties,



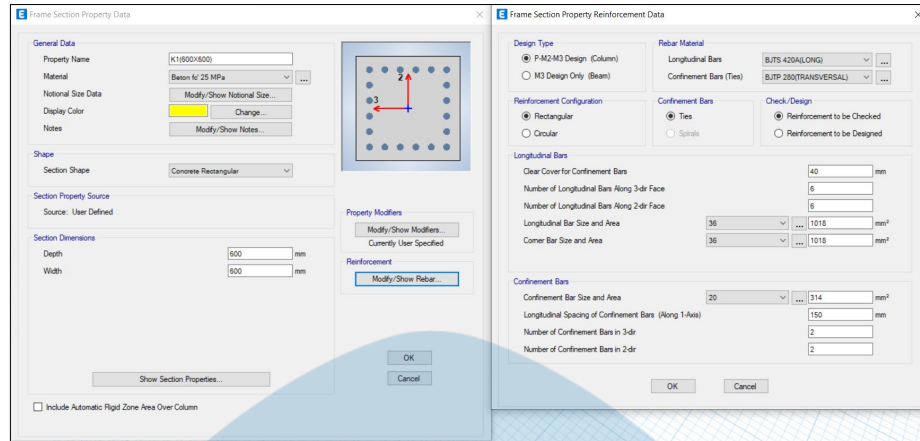
Gambar 2. 22 Section Properties Balok dan Kolom (1)



Gambar 2. 23 Section Properties Balok dan Kolom (2)



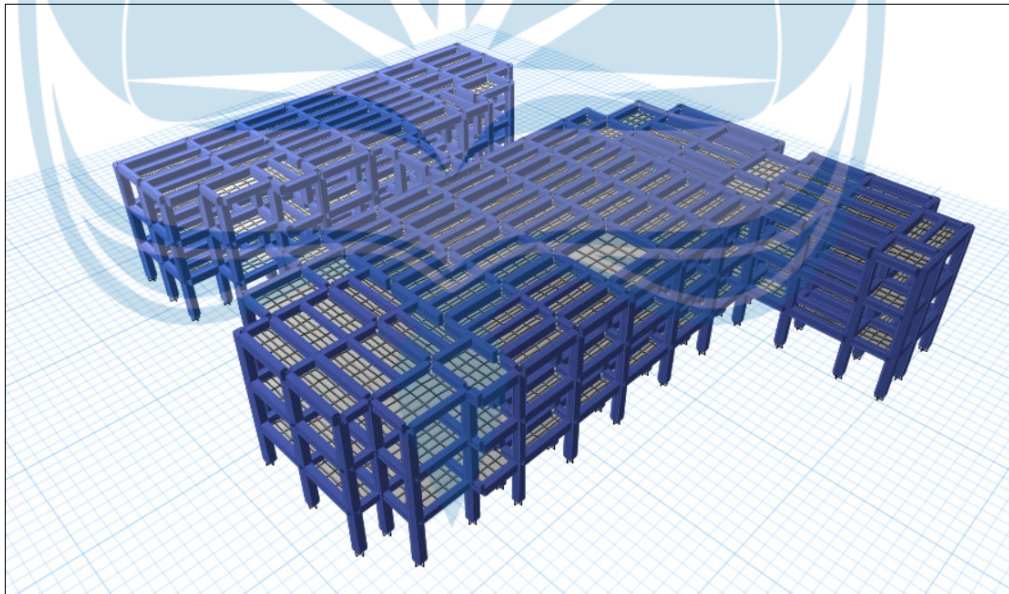
Gambar 2. 24 Section Properties Balok dan Kolom (3)



Gambar 2. 25 Section Properties Balok dan Kolom (4)

3. Pemodelan 3D Struktur

Setelah material dan section properties sudah lengkap, langkah selanjutnya adalah membuat model 3D. Model mengakomodasi semua ukuran balok dan kolom, beserta tulangan yang direncanakan untuk terpasang ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini.

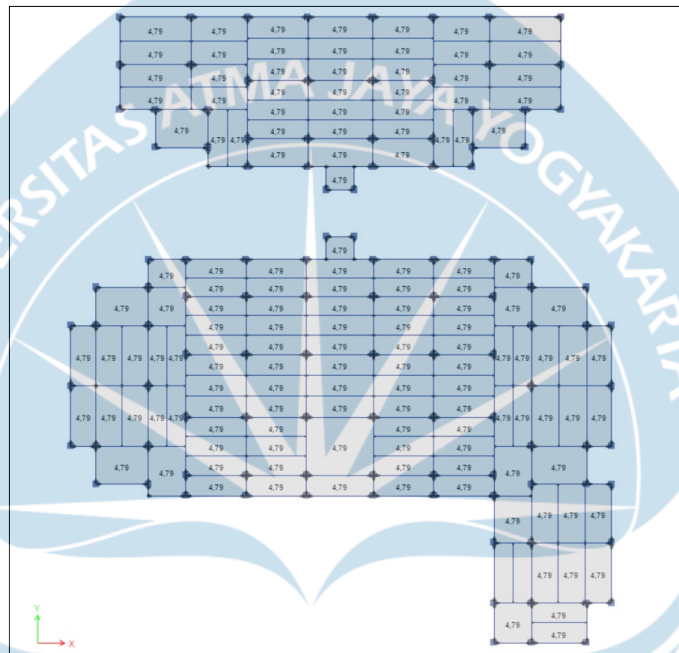


Gambar 2. 26 Model 3D Gedung

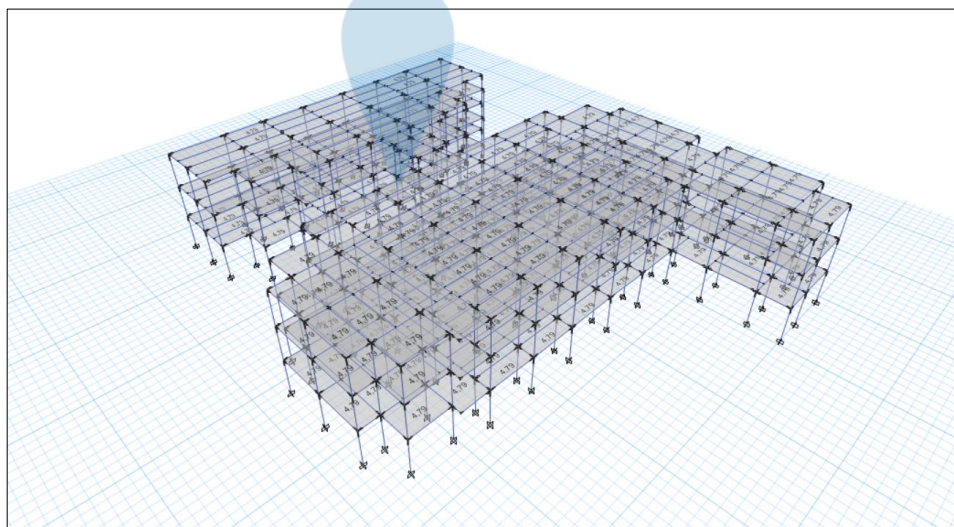
4. Memberikan Beban yang Bekerja

Secara garis besar, beban yang bekerja pada struktur ini dibedakan menjadi:

- a. Beban mati (berat sendiri baja, beban dinding);
- b. Beban mati tambahan (plafond, mekanikal,dll);
- c. Beban hidup (beban yang bekerja);
- d. Beban gempa. (respons spektrum).



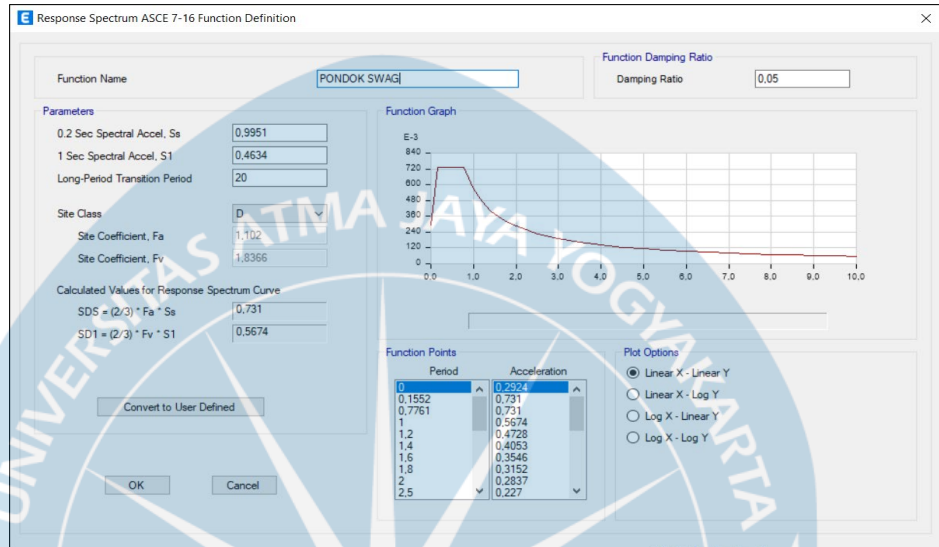
Gambar 2. 27 Pembebanan Pelat Lantai di Model 3D (1)



Gambar 2. 28 Pembebanan Pelat Lantai di Model 3D (2)

5. Memberikan Beban Gempa

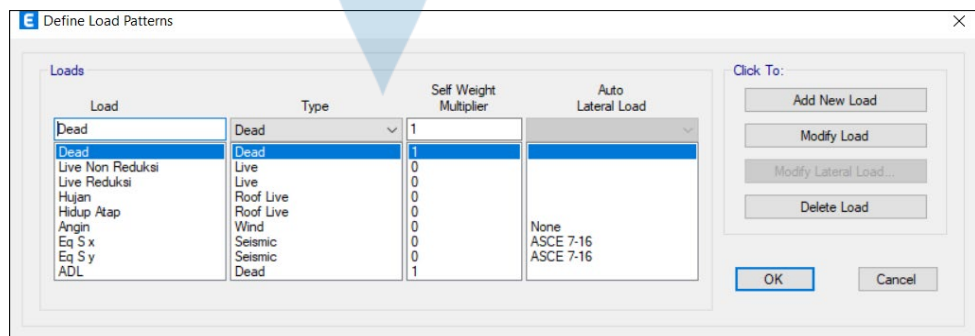
Beban gempa dimodelkan dalam Program dengan fungsi respon spectrum. Perhitungan dan besaran dapat dilihat pada bagian Input data – respon spektrum. Setelah didapat grafik respon spektrum, grafik kemudian di input ke dalam program, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.29 :



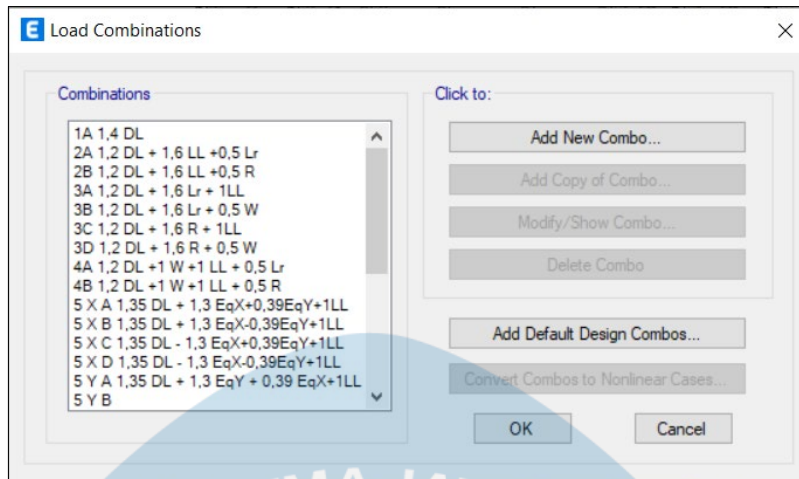
Gambar 2. 29 Input Beban Gempa

6. Memberikan Kombinasi dan Faktor Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, dalam laporan ini pembahasan kombinasi pembebanan dilakukan pada bagian *Input Data* hingga Kombinasi Pembebanan.



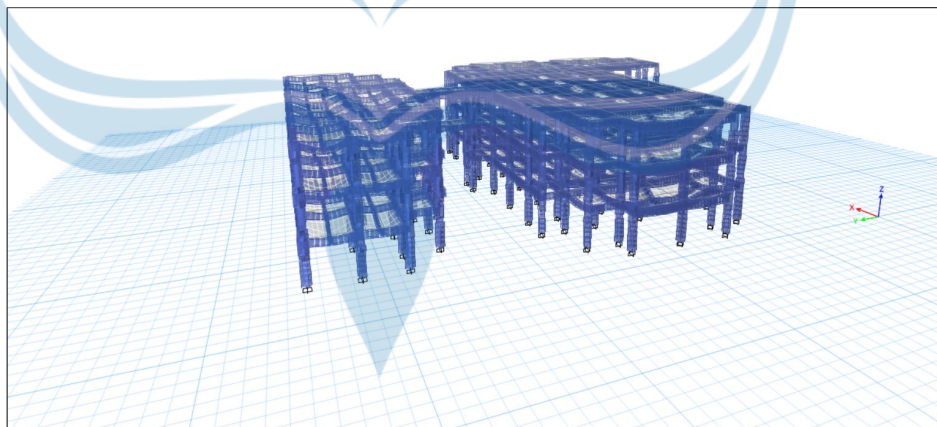
Gambar 2. 30 Input Kombinasi Pembebanan (1)



Gambar 2. 31 *Input* Kombinasi Pembebanan (2)

7. *Running* Program

Setelah semua gaya terpasang, beberapa perlakuan terhadap struktur dilakukan seperti pemberian *mass source* dan diafragma, setelah itu dilakukan *running* program. Hasil dari *running* program adalah berupa gaya gaya dalam yang bekerja pada balok dan kolom struktur. Gaya ini adalah kunci dalam menganalisis kekuatan struktur itu sendiri. Gaya yang didapat pada hasil *running* dapat dilihat pada Gambar 2. 32.



Gambar 2. 32 Hasil *Running* dan Gaya yang Bekerja

8. Hasil Gaya Dalam

Gaya yang sudah di dapat kemudian di-*export* ke dalam *software* Excel, dan dilakukan analisa. Setiap elemen struktur dicek nilai keamanannya. Hasil pengecekan juga ditampilkan dalam Excel seperti pada lampiran.

2.6 Interpretasi *Output* Pemodelan

2.6.1 Pengecekan Periode Fundamental Struktur

Pada pekerjaan ini, tipe struktur yang digunakan adalah rangka baja pemikul momen khusus sehingga didapatkan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$. Selanjutnya berdasarkan nilai $S_{D1} = 0,567$ g didapatkan koefisien $C_u = 1,4$. Sehingga didapatkan nilai $T_a = 0,565$ detik dan $C_u \cdot T_a = 0,791$ detik. Sehingga, periode struktur yang digunakan adalah $T = 0,565$ detik.

2.6.2 Pengecekan Modal *Participation Mass Rasio*

Berdasarkan hasil pemodelan struktur, rasio partisipasi modal massa (modal *participation mass ratio*) disajikan dalam Tabel 2.18. Jumlah ragam (*modes*) yang disyaratkan untuk menentukan ragam getar alami bagi struktur harus cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 100% dari massa aktual masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model, sesuai dengan Pasal 7.9.1 SNI 1726:2019. Berdasarkan hasil pemodelan struktur, diperoleh bahwa pada kedua arah dengan melibatkan 40 ragam getar (*modes*), cukup untuk menghasilkan 100% dari massa aktual di kedua arah X dan Y dapat dilihat pada Tabel 2.16 berikut.

Tabel 2. 16 Modal Participation Mass Ratio

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Mode	Period	SumUX	SumUY
sec				
Modal	1	0,689	0,0006	0,8269
Modal	2	0,668	0,6824	0,8322
Modal	3	0,625	0,8289	0,8426
Modal	4	0,606	0,837	0,8426
Modal	5	0,477	0,8492	0,843
Modal	6	0,33	0,8492	0,8432
Modal	7	0,258	0,8493	0,8432
Modal	8	0,21	0,8508	0,9621
Modal	9	0,208	0,9344	0,9634
Modal	10	0,197	0,9584	0,9638
Modal	11	0,188	0,9612	0,9666
Modal	12	0,181	0,9692	0,9675

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Mode	Period	SumUX	SumUY
sec				
Modal	13	0,16	0,97	0,9677
Modal	14	0,132	0,97	0,9682
Modal	15	0,118	0,9887	0,973
Modal	16	0,116	0,9935	0,9973
Modal	17	0,104	0,9994	0,9978
Modal	18	0,091	0,9994	0,9999
Modal	19	0,058	0,9999	0,9999
Modal	20	0,05	1	1

2.7 Pengecekan Eksentrisitas

Struktur gedung untuk semua kategori desain seismik (KDS) harus mempertimbangkan torsi rencana dan torsi tak terduga. Torsi tak terduga dikerjakan pada model struktur dengan memberikan eksentrisitas sebesar 5% masing-masing pada arah sumbu X dan Y. Pada pekerjaan ini, struktur gedung termasuk dalam kategori desain seismik D sehingga harus mempertimbangkan torsi rencana dan torsi tak terduga. Selanjutnya, apabila struktur gedung termasuk dalam kategori desain seismik C, D, E, dan F serta memiliki ketidakberaturan torsi maka harus mempertimbangkan adanya pembesaran torsi tak terduga. Pada pekerjaan ini, tidak terdapat ketidakberaturan torsi pada struktur gedung yang ditinjau sehingga pembesaran torsi tak terduga dapat diabaikan.

2.8 Perancangan Struktur Atap

Desain atap dilakukan dalam perencanaan Pondok Pesantren Assalafiyah berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 2015) SNI 1729:2015 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Pada sub-bab ini dilakukan perhitungan dimensi gording, dimensi ikatan angin, dimensi kuda-kuda, kapasitas atap, serta lainnya.

2.8.1 Rencana Gording

1. Data Atap Utama:

Sudut Atap θ	= 50°
Jarak antar kuda-kuda	= 4 meter
Berat profile kuda-kuda	= 0,5 kN
Berat atap bitumen	= 0,045 kN/m ²
Mutu baja F_y	= 240 MPa
Tiupan angin	= 0,25 kN/m ²

a) Data Gording:

Jarak gording	= 1,75 meter
Berat gording (asumsi)	= 0,07 kN/m

Beban DL gording :

Berat Gording	= 0,0596 kN/m
Berat Atap	= 1,225 kN/m
<u>Berat Plafond</u>	<u>= 0,35 kN/m</u>
q-gording	= 1,635 kN/m
Beban LL (P)	= 1,0 kN (P diambil dari beban pekerja)

Rencana momen gording:

$$\begin{aligned}M_{3DL} &= 18 \times q \cdot \cos \theta \times L^2 \\ &= 18 \times 1,635 \cos 50^\circ \times 4^2 \\ &= 2,102 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{3LL} &= 14 \times p \cdot \cos \times L \\
 &= 14 \times 1 \cos 50^\circ \times 4 \\
 &= 0,643 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{2DL} &= 18 \times q \cdot \sin \times (L/3)^2 \\
 &= 18 \times 1,635 \sin 50^\circ \times (4/3)^2 \\
 &= 0,278 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{2LL} &= 14 \times p \sin \times (L/3) \\
 &= 14 \times 1 \sin 50^\circ \times (4/3) \\
 &= 0,255 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{3U} &= 1,4 \times M_{3DL} \\
 &= 1,4 \times 2,102 \\
 &= 2,942 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{3U} &= 1,2 M_{3DL} + 1,6 M_{3LL} \\
 &= 1,2 \times 2,102 + 1,6 \times 2,942 \\
 &= 3,550 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Dipilih M_{3U} 3,550 kNm

$$\begin{aligned}
 M_{2U} &= 1,4 M_{2D} \\
 &= 1,4 \times 0,278 \\
 &= 0,390 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{2U} &= 1,2 M_{2DL} + 1,6 M_{2LL} \\
 &= 1,2 \times 0,278 + 1,6 \times 0,255 \\
 &= 0,742 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Dipilih M_{2U} 0,742 kNm

Cek Tegangan Pada Profile C

Dimensi Gording C yang digunakan C150 x 65 x 20 x 2,5 dengan data:

$$I_x = 2.670.000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 440.000 \text{ mm}^4$$

$$W_x = 35.600 \text{ mm}^3$$

$$W_y = 10.000 \text{ mm}^3$$

Nilai ϕ (faktor reduksi) = 0,9 (Tabel 6.4-2 SNI 03 1729-2002)

$$\begin{aligned} f_b &= \frac{M3U}{\phi \times W3} + \frac{M2U}{\phi \times W2} \leq F_y \\ &= 3,550 / (0,9 \times 35600) + 0,742 / (0,9 \times 10000) \leq 240 \\ &= 0,0001933096 \times 1000000 \leq 240 \\ &= 193,3096 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dikarenakan $193,3096 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa}$ maka tegangan profile C aman.

Cek Defleksi Gording

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \frac{5}{384} + \frac{q \cos \theta (L)^4}{EI} + \frac{1}{48} \frac{P \sin \theta (L)^4}{EI} ; E = 200000 \text{ MPa} \\ &= \frac{5}{384} + \frac{1,635 \cos 50 (4000)^4}{200000 \times 2760000} + \frac{1}{48} + \frac{1 \sin 50 (4000)^3}{200000 \times 2760000} \\ &= 6,3469 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \frac{5}{384} + \frac{q \cos \theta (L/2)^4}{EI} + \frac{1}{48} \frac{P \sin \theta (L/2)^4}{EI} ; E = 200000 \text{ MPa} \\ &= \frac{5}{384} + \frac{1,635 \cos 50 (4000/2)^4}{200000 \times 2760000} + \frac{1}{48} + \frac{1 \sin 50 (4000/2)^3}{200000 \times 2760000} \\ &= 0,5860 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \leq \frac{1}{240} L \\ &= \sqrt{6,3469^2 + 0,5860^2} \leq \frac{1}{240} \times 4000 \\ &= 6,3739 \text{ mm} \leq 16,667 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena defleksi gording $6,3739 \text{ mm} \leq 16,667 \text{ mm}$, maka defleksi gording AMAN.

Rencana Sag-Rod

Jumlah gording dibawah nok sejumlah $n=4$, sehingga gaya sag-rod terbesar :

$$\begin{aligned}F_{tDL} &= n \left(\frac{L}{3} \times q \times \sin 50^\circ \right) \\&= 4 \left(\frac{4}{3} \times 1,635 \times \sin 50^\circ \right) \\&= 6,679 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{tLL} &= n \left(\frac{4}{2} \times \sin 50^\circ \right) \\&= 4 \left(\frac{4}{2} \times \sin 50^\circ \right) \\&= 2 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kombinasi Beban:

$$\begin{aligned}F_{tU} &= 1,4 \times F_{tDL} \\&= 1,4 \times 6,679 \\&= 9,3503 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{tU} &= 1,2F_{tDL} + 1,6F_{tLL} \\&= 1,2 \times 6,679 + 1,6 \times 2 \\&= 10,4659 \text{ kN}\end{aligned}$$

Maka yang dipilih $F_{tU} 10,4659 \text{ kN}$

Luas Batang Sag-rod:

$$\begin{aligned}A_{sr} &= \frac{F_t \cdot 10^3}{\phi F_y} \\&= (10,4659 \times 10^3) / (0,9 \times 240) = 48,4533 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka, menggunakan diameter Sag-Rod dengan diameter 10 mm.

2.8.2 Rencana Beban Kuda-Kuda

a) Data Kuda-Kuda

Sudut Atap Θ	= 50°
Jarak antar kuda-kuda	= 4 meter
Berat profile kuda-kuda	= 0,5 kN
Berat atap bitumen	= 0,045 kN/m ²
Tiupan angin	= 0,25 kN/m ²

b) Beban kuda-kuda :

Beban P1

$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri kuda-kuda} &= \frac{a}{2} \times \text{berat kuda kuda} \\ &= \frac{1,75}{2} \times 0,5 \\ &= 0,4375 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Gording} &= L \times \text{berat gording per m} \\ &= 4 \times 0,0596 \\ &= 0,24 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Atap} &= (a^2+b)\cos 50^\circ \times L \times \text{berat atap} \\ &= (22+1)\cos 50^\circ \times 4 \times 1,2551 \\ &= 15,2477 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Plafond} &= (a^2+b) \times L \times \text{berat plafond} \\ &= 22+1 \times 4 \times 0,35 \\ &= 2,8 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Beban P1} &= \text{Berat sendiri kuda-kuda} + \text{Berat Gording} + \text{Berat} \\ &\quad \text{Atap} + \text{Berat Plafond} \\ &= 0,4375 \text{ kN} + 0,24 \text{ kN} + 15,2477 \text{ kN} + 2,8 \text{ kN} \\ &= 18,786 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban P2

$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri kuda-kuda} &= 2 \times \text{berat kuda kuda} \\ &= 2 \times 0,5 \\ &= 1 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Gording} &= L \times \text{berat gording per m} \\ &= 4 \times 0,0596 \\ &= 0,24 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Atap} &= a \cos 50^\circ \times L \times \text{berat atap} \\ &= 2 \cos 50^\circ \times 4 \times 1,2551 \\ &= 15,2477 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Plafond} &= a \times L \times \text{berat plafond} \\ &= 2 \times 4 \times 0,35 \\ &= 2,8 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Beban P2} &= \text{Berat sendiri kuda-kuda} + \text{Berat Gording} \\ &\quad + \text{Berat Atap} + \text{Berat Plafond} \\ &= 1 \text{ kN} + 0,24 \text{ kN} + 15,2477 \text{ kN} + 2,8 \text{ kN} \\ &= 19,286 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban P3

$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri kuda-kuda} &= 2 \times \text{berat kuda kuda} \\ &= 2 \times 0,5 \\ &= 1 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Gording} &= a \times L \times \text{berat gording per m} \\ &= 2 \times 4 \times 0,0596 \\ &= 0,48 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Atap} &= a \cos 50^\circ \times L \times \text{berat atap} \\ &= 2 \cos 50^\circ \times 4 \times 1,2551 \\ &= 15,2477 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Plafond} &= a \times L \times \text{berat plafond} \\
 &= 2 \times 4 \times 0,35 \\
 &= 2,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Beban P3} &= \text{Berat sendiri kuda-kuda} + \text{Berat Gording} \\
 &\quad + \text{Berat Atap} + \text{Berat Plafond} \\
 &= 1 \text{ kN} + 0,48 \text{ kN} + 15,2477 \text{ kN} + 2,8 \text{ kN} \\
 &= 19,5242 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c) Beban Angin

$$\begin{aligned}
 \text{Beban W1} &= (a_2+b) \cos 50^\circ \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= (22+1) \cos 50^\circ \times 0,4 \times 4 \times 0,25 \\
 &= 0,9238 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Arah X} = \sin 50^\circ \times W1 = 0,7076 \text{ kN}$$

$$\text{Arah Y} = \cos 50^\circ \times W1 = 0,5938 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban W2} &= a \cos 50^\circ \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= 2 \cos 50^\circ \times 0,4 \times 4 \times 0,25 \\
 &= 1,2446 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Arah X} = \sin 50^\circ \times W2 = 0,9534 \text{ kN}$$

$$\text{Arah Y} = \cos 50^\circ \times W2 = 0,8 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban W3} &= 12 \times a \cos 50^\circ \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
 &= 12 \times 2 \cos 50^\circ \times 0,4 \times 4 \times 0,25 \\
 &= 0,9238 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Arah X} = \sin 50^\circ \times W3 = 0,4767 \text{ kN}$$

$$\text{Arah Y} = \cos 50^\circ \times W3 = 0,4 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban W4} &= 12 \times a \cos 50^\circ \times C_{is} \times L \times Q_w \\
 &= 12 \times 2 \cos 50^\circ \times (-0,6) \times 4 \times 0,25 \\
 &= -0,9334 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Arah X} = \sin 50^\circ \times W4 = -0,7151 \text{ kN}$$

$$\text{Arah Y} = \cos 50^\circ \times W4 = -0,6 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban W5} &= a \cos 50^\circ \times C_{is} \times L \times Q_w \\
 &= 2 \cos 50^\circ \times (-0,6) \times 4 \times 0,25 \\
 &= -1,8669 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Arah X} = \sin 50^\circ \times W5 = -1,4301 \text{ kN}$$

$$\text{Arah Y} = \cos 50^\circ \times W5 = -1,2 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } W6 &= (a^2+b) \cos 50^\circ \times \text{Cis} \times L \times Qw \\ &= (22+1) \cos 50^\circ \times (-0,6) \times 4 \times 0,25 \\ &= -1,8669 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Arah X} = \sin 50^\circ \times W6 = -1,4301 \text{ kN}$$

$$\text{Arah Y} = \cos 50^\circ \times W6 = -1,2 \text{ kN}$$



2.8.3 Rencana Elemen Kuda-Kuda

1. Kapasitas Atap

a) Profile 2L 75x75x8-10 mm, untuk rencana eksterior.

$$A = 1150 \quad \text{mm}^2$$

$$L_x = L_y = 589000 \quad \text{mm}^4$$

$$I_x = I_y = 22,6 \quad \text{mm}$$

$$C_x = C_y = 21,3 \quad \text{mm}$$

$$t_p = 10 \quad \text{mm}$$

$$\text{Konstanta torsi (J)} = 3213 \quad \text{mm}^3$$

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

Properti Profil Gabungan

$$A_g = 2 \times 1150 = 2300 \quad \text{mm}^2$$

$$L_{xg} = 2 \times 589000 = 1178000 \quad \text{mm}^4$$

$$\begin{aligned} L_{yg} &= \left(l_y + A_g \left(C_y + \frac{t_p}{2} \right)^2 \right) \\ &= \left(589000 + 2300 \left(16,9 + \frac{10}{2} \right)^2 \right) \\ &= 2179887 \quad \text{mm}^4 \end{aligned}$$

$$Y_{xg} = 22,6 \quad \text{mm}$$

$$\begin{aligned} Y_{xg} &= \sqrt{\frac{l_{yg}}{A_{profil}}} \\ &= \sqrt{\frac{2179887}{2300}} = 30,78598637 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

$$X_0 = 0 \quad \text{mm}$$

$$\begin{aligned} Y_0 &= C_y - \frac{t}{2} \\ &= 21,3 - \frac{8}{2} \\ &= 18,8 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_0 &= \frac{L_x + L_y}{A} + X_0^2 + Y_0^2 \\ &= \frac{1178000 + 2179887}{2300} + 0^2 + 18,8^2 = 1813,39087 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= 1 - \frac{X_0^2 + Y_0^2}{Y_0} \\ &= 1 - \frac{0^2 + 18,8^2}{1813,39087} \\ &= 0,805 \end{aligned}$$

Batang Tekan

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{75}{8} = 9,37$$

$$\lambda_y = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 12,728$$

$$\begin{aligned}\lambda &= 9,375 < \lambda_y \\ &= 12,728\end{aligned}$$

Maka, penampang non-langsing.

Pemeriksaan Tekuk Lentur (Terhadap Sumbu X-X):

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 2460,000}{22,6} = 108,85$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{y}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{(108,85)^2} = 53,031 \text{ MPa}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 133,219$$

$$\frac{KL}{Y_x} = 108,85 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 133,219$$

Sehingga, F_{cr} diambil dari persamaan

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = 34,754 \text{ MPa}$$

Pemeriksaan Terhadap Tekuk Lentur Torsi:

$$a = 2460 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{r} = \frac{2460}{22,6} = 108,85$$

Karena $\frac{a}{r} > 40$ maka, menggunakan $\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{Kia}{Y_i}\right)^2}$

$$\begin{aligned}\left(\frac{KL}{r}\right)_m &= \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{Kia}{Y_i}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1 \times 108,85}{22,6}\right)^2 + 0,5 \times 108,85^2} = 121,698\end{aligned}$$

Karena $\left(\frac{KL}{r}\right)_m = 121,698 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 133,219$ maka menggunakan

persamaan:

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = 82,137 \text{ MPa}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{y}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(121,698)^2} = 42,424 \text{ MPa}$$

$$F_{cry} = 21,222 \text{ MPa}$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A \times r_o} = \frac{77200 \times 3213}{2300 \times 1813,391} = 59,471 \text{ MPa}$$

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

$$= \left(\frac{21,222 + 59,471}{2 \times 0,805} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 21,222 \times 59,471 \times 0,805}{(21,222 + 59,471)^2}} \right]$$

$$= 19,393 \text{ MPa}$$

Kekuatan Tekan Desain:

$$F_{cr} = 34,754 \text{ MPa (Pemeriksaan tekuk lentur)}$$

$$F_{cr} = 19,393 \text{ MPa (Pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi)}$$

Dipilih F_{cr} yang memiliki nilai lebih kecil yaitu $F_{cr} = 13,393 \text{ MPa}$

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

$$= 0,9 \times 13,393 \times 2300 = 40,143 \text{ kN}$$

$$\phi_c P_n = 40,002 \text{ kN} > \text{Gaya tekan maksimum} = 33,754 \text{ kN (OK)}$$

Batang Tarik

Perhitungan Kelangsungan Batang Tarik

$$\lambda = L/\gamma = 2458,2 / 22,6 = 108,77 < 300 \text{ (OK)}$$

Pemeriksaan Leleh Tarik

$$\phi_c P_n = F_{cr} \times A_g = 250 \times 2300 = 575000 \text{ kN}$$

$$\phi_c P_n = 517,5 \text{ kN} > P_u \text{ (Gaya tekan maksimum)}$$

$$= 64,614 \text{ kN (OK)}$$

b) Profile 2L 65x65x6-10 mm, untuk rencana interior

$$A = 753 \text{ mm}^2$$

$$L_x = L_y = 294000 \text{ mm}^4$$

$$I_x = I_y = 19,8 \text{ mm}$$

$$C_x = C_y = 16,9 \text{ mm}$$

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

$$\text{Konstanta torsi (J)} = 2853 \text{ mm}^3$$

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

Properti Profil Gabungan

$$A_g = 2 \times 753 = 1506 \text{ mm}^2$$

$$L_{xg} = 2 \times 294000 = 588000 \text{ mm}^4$$

$$L_{yg} = \left(l_y + A_g \left(C_y + \frac{tp}{2} \right)^2 \right)$$

$$= \left(294000 + 1506 \left(16,9 + \frac{6}{2} \right)^2 \right) = 1016292,66 \text{ mm}^4$$

$$Y_{xg} = 19,8 \text{ mm}$$

$$Y_{yg} = \sqrt{\frac{l_{yg}}{A_{profil}}}$$

$$= \sqrt{\frac{1016292,66}{1506}} = 25,97747339 \text{ mm}$$

$$X_0 = 0 \text{ mm}$$

$$Y_0 = C_y - \frac{t}{2}$$

$$= 16,9 - \frac{6}{2}$$

$$= 13,9 \text{ mm}$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{L_x + L_y}{A} + X_0^2 + Y_0^2}$$

$$= \sqrt{\frac{588000 + 1016292,66}{1506} + 0^2 + 13,9^2} = 1258,477371 \text{ mm}^2$$

$$H = 1 - \frac{X_0^2 + Y_0^2}{r_0^2}$$

$$= 1 - \frac{0^2 + 13,9^2}{1258,477371^2}$$

$$= 0,846$$

Batang Tekan

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{65}{6} = 10,833$$

$$\lambda_y = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_y = 0,45 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$\lambda_y = 12,728$$

$$\lambda = 10,833 < \lambda_y$$

$$\lambda = 12,73$$

Maka, penampang non-langsing.

Pemeriksaan Tekuk Lentur (Terhadap Sumbu X-X):

$$\frac{KL}{Y_x} = \frac{1 \times 1450}{19,8} = 73,232$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{y}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{(73,232)^2} = 117,159 \text{ MPa}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 133,219$$

$$\frac{KL}{Y_x} = 203,384 > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 133,219$$

Sehingga, F_{cr} diambil dari persamaan

$$F_{cr} = (0,877) F_e = 322,793 \text{ MPa}$$

$$F_e = 368,0646573$$

Pemeriksaan Tekuk Lentur Torsi:

$$a = 1450 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{y} = \frac{1450}{19,8} = 73,2323 > 40$$

$$\text{Maka, menggunakan } \left(\frac{KL}{y}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{y}\right)^2 + \left(\frac{Kia}{Y_i}\right)^2}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{KL}{y}\right)_m &= \sqrt{\left(\frac{KL}{y}\right)^2 + \left(\frac{Kia}{Y_i}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1 \times 1450}{19,8}\right)^2 + 0,5 \times 73,2323^2} = 81,876 \end{aligned}$$

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

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{y}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(73,2323)^2} = 368,0646573 \text{ MPa}$$

Batang Tekan:

$$F_{cry} = 0,877 F_e = 322,793 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} F_{crz} &= \frac{GJ}{A \times Y_o} \\ &= \frac{77200 \times 2853}{1506 \times 1258,477371} \\ &= 116,211 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times F_{cry} \times F_{crz} \times H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}}\right] \\ &= \left(\frac{322,793 + 116,211}{2 \times 0,846}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 322,793 \times 116,211 \times 0,846}{(322,793 + 116,211)^2}}\right] \\ &= 107,895 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kekuatan Tekan Desain:

$$F_{cr} = 322,793 \text{ MPa (Pemeriksaan tekuk lentur)}$$

$$F_{cr} = 107,895 \text{ MPa (Pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi)}$$

Dipilih F_{cr} yang memiliki nilai lebih kecil yaitu $F_{cr} = 107,895 \text{ MPa}$

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

$$= 0,9 \times 107,895 \times 1506 = 146,240 \text{ kN}$$

$$\phi_c P_n = 141,985 \text{ kN} > \text{Gaya tekan maksimum} = 124,497 \text{ kN (OK)}$$

Tarik

Perhitungan Kelangsungan Batang Tarik

$$\lambda = L/\gamma = 1050/19,8 = 53,03 \text{ kN} < 300 \text{ (OK)}$$

Pemeriksaan Leleh Tarik

$$\phi P_n = F_y \times A_g = (376500 \times 0,9)/100 = 338,85 \text{ kN}$$

$$338,85 \text{ kN} > P_u = 102,044 \text{ kN (OK).}$$

2.8.4 Rencana Sambungan Elemen Kuda-Kuda

Untuk rencana sambungan akan digunakan jenis baut, berikut uraian profil 2L 75x75x8-10 mm yang mengalami tarik sebesar 33,754 kN dan profile 2L 65x65x6-10 mm yang mengalami tarik sebesar 102,044 kN. Baut A325-X dengan diameter baut yang digunakan M-20 yaitu 22 mm, ukuran plat 6 x 250 mm yang disambung dari baja ASTM A36:

1. Pemeriksaan Leleh Tarik Pada Penampang Bruto

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

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

$$A_g = 6 \times 250$$

$$= 1500 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = 0,9 F_y \times A_g$$

$$= 0,9 \times 240 \times 1500$$

$$= 324 \text{ kN} > 102,044 \text{ kN (Profile 2L 65x65x6)}$$

$$= 324 \text{ kN} > 33,754 \text{ kN (Profile 2L 75x75x8)}$$

2. Pemeriksaan Keruntuhan Tarik pada Penampang Bruto

$$A_n = [250 - 2(22+2)] \times 6$$

$$= 1212 \text{ mm}^2$$

$$\text{Max } A_n = 0,85 A_g$$

$$= 0,85 \times 1500 = 1275 \text{ mm}^2$$

$$A_e = A_n = 1212 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = 0,9 F_u \times A_g$$

$$= 0,75 \times 370 \times 1212$$

$$= 336330 \text{ N}$$

$$= 336,33 \text{ kN} > 250 \text{ kN (AMAN)}$$

3. Kekuatan Tumpu Baut

$$\begin{aligned}R_n &= 2,4d_tF_u \\ &= 2,4 \times 20 \times 6 \times 370 \\ &= 106560 \text{ N} \\ &= 106,56 \text{ kN} \\ \phi R_n &= 0,75 \times 106,56 \\ &= 79,92 \text{ kN}\end{aligned}$$

4. Kekuatan Geser Baut

$$\begin{aligned}R_n &= F_{nv}A_b \text{ (jumlah bidang geser)} \\ &= 457 \times (1/4 \times \pi \times 20^2) \times 2 \\ &= 287141,57 \text{ N} \\ \phi R_n &= 0,75 \times 287141,57 \\ &= 215,36 \text{ kN}\end{aligned}$$

Dipilih nilai terkecil dari kekuatan tumpu baut dan kekuatan geser baut

Yaitu $\phi R_n = 79,92 \text{ kN}$

5. Jumlah Kebutuhan Baut

$$\begin{aligned}\text{Jumlah baut} &= \frac{250}{79,92} \\ &= 3,128 \text{ baut}\end{aligned}$$

Jadi, dibulatkan menjadi 4 baut

2.9 Perancangan Balok

Pada perancangan balok untuk Pondok Pesantren Assalafiyah memakai hasil analisis *software* ETABS 2019 yang digunakan dalam penentuan tulangan balok pada struktur bangunan.

2.9.1 Balok Induk I (400 x 750)

1. Data Balok

Panjang Balok, L	= 6400 mm
Lebar Balok, b	= 400 mm
Tinggi Balok, h	= 750 mm
Panjang Tumpuan	$2 \times h = 1500$ mm
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b	= 32 mm
Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt}	= 13 mm
Diameter Tulangan Sengkang, d_s	= 13 mm
Selimut bersih, c_c	= 40 mm
Tinggi Efektif Beton, d	$= \frac{h - c_c - d_s - d_b}{2} = 691$ mm
Kuat Tekan Beton, F_c'	= 25 MPa
Kuat Leleh Tulangan Longitudinal, f_y	= 420 MPa
Kuat Leleh Tulangan Transversal, f_y	= 280 MPa
β_1	$= 0,65 \leq 0,85 - 0,05 \times \frac{f_{cr} - 28}{7} \leq 0,85$ = 0,85
Panjang Kolom, C_1	= 600 mm
Panjang Kolom, C_2	= 600 mm
L_n	= $L - C_1 = 5800$ mm
λ	= 1

2. Desain Lentur

a) Gaya Dalam

M_u , tumpuan (-)	= -606,294 kNm
M_u , tumpuan (+)	= 600,9772 kNm
M_u , lapangan (-)	= -588,592 kNm
M_u , lapangan (+)	= 525,7088 kNm
P_u	= 63,2169 kN

b) Syarat Gaya dan Geometri

$$\text{Syarat Gaya Aksial} = P_u \leq 0.1 A_g f_c' \text{ (OK)}$$

$$\text{Syarat Tinggi Efektif} = L_n \geq 4d \text{ (OK)}$$

$$\text{Syarat Lebar 1} = b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm}) \text{ (OK)}$$

$$\text{Syarat Lebar 2} = b \leq c_2 + 2 * \min(c_2, 0.75 c_1) \text{ (OK)}$$

c) Penulangan Lentur

Tumpuan Negatif

Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, $n = 5$

$$d_b = 29 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 42,250 \text{ mm}$$

Cek Jarak Bersih = Jarak bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (OK)

Jumlah Lapis = 1

$$\text{As Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 3302,599 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,1} = \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 805,999 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 921,333 \text{ mm}^2$$

Cek As min = As Pasang \geq As min (OK)

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = 1,19 \%$$

$$\rho_{\max,1} = 0,75 \rho_b = \frac{0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 1,82\%$$

$$\rho_{\max,2} = 2,50 \%$$

Cek As max = $\rho \leq \rho_{\max}$ (OK)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b} = 169,987 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \frac{d-a}{2} = 840,587 \text{ kN-m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 199,984 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d - c)}{c \times 0.003} = 0,007$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0.002)}{0.003 \times 0,25} \leq 0,9 = 0,90$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 756,528 \text{ kN-m}$$

$$M_u, \text{ tumpuan (-)} = 606,294 \text{ kN-m}$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$$

$$\text{As Perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}} = 2382,083 \text{ mm}^2$$

Tumpuan Positif

Jumlah Tulangan Positif Tumpuan, $n = 5$

$$d_b = 29 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 42,250 \text{ mm}$$

Cek Jarak Bersih = Jarak bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (OK)

Jumlah Lapis = 1

$$\begin{aligned} \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 3302,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As}_{\min,1} = \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 805,999 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 921,333 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,3} = 0,5 \times \text{As Tumpuan Negatif} = 1651,300 \text{ mm}^2$$

Cek As min = As Pasang \geq As min (OK)

$$\rho = \frac{\text{As}}{b \times d} = 1,19 \%$$

$$\rho_{\max,1} = 0,75 \rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 1,82\%$$

$$\rho_{\max,2} = 2,50 \%$$

Cek As max = $\rho \leq \rho_{\max}$ (OK)

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= 169,987 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \text{As} \times f_y \times \frac{d-a}{2} \\ &= 840,587 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 199,984 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d - c)}{c \times 0,003} = 0,007$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0,002)}{0,003 \times 0,25} \leq 0,9 = 0,90$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 756,528 \text{ kN-m} \\ M_u &= 606,977 \text{ kN-m} \\ \text{Cek Kapasitas} &= \phi M_n > M_u \text{ (OK)} \\ \text{As Perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}} \\ &= 2361,192 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Lapangan Negatif

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Tulangan Negatif Lapangan, } n &= 5 \\ d_b &= 29 \text{ mm} \\ \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 42,250 \text{ mm} \\ \text{Cek Jarak Bersih} &= \text{Jarak bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (OK)} \\ \text{Jumlah Lapis} &= 1 \\ \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 3302,599 \text{ mm}^2 \\ A_{S \text{ min},1} &= \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 805,999 \text{ mm}^2 \\ A_{S \text{ min},2} &= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 921,333 \text{ mm}^2 \\ A_{S \text{ min},3} &= 0,5 \times \text{As Tumpuan Negatif} = 825,650 \text{ mm}^2 \\ \text{Cek As}_{\text{min}} &= \text{As Pasang} \geq \text{As}_{\text{min}} \text{ (OK)} \\ \rho &= \frac{A_s}{b \times d} = 1,19 \% \\ \rho_{\text{max},1} &= 0,75 \rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 1,82\% \\ \rho_{\text{max},2} &= 2,50 \% \\ \text{Cek As}_{\text{max}} &= \rho \leq \rho_{\text{max}} \text{ (OK)} \\ a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= 169,987 \text{ mm} \\ M_n &= A_s \times f_y \times \frac{d-a}{2} \\ &= 840,587 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 199,984 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d - c)}{c \times 0.003} = 0,007$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0.002)}{0.003 \times 0,25} \leq 0,9$$

$$= 0,90$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 756,528 \text{ kN-m}$$

$$M_u = 588,592 \text{ kN-m}$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$$

$$\text{As Perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}}$$

$$= 2312,533 \text{ mm}^2$$

Lapangan Positif

Jumlah Tulangan Negatif Lapangan, $n = 5$

$$d_b = 29 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 42,250 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Jarak Bersih} = \text{Jarak bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (OK)}$$

Jumlah Lapis = 1

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

$$= 3302,599 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min},1} = \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 805,999 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min},2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 921,333 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min},3} = 0,5 \times \text{As Tumpuan Negatif} = 825,650 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek As min} = \text{As Pasang} \geq \text{As min (OK)}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = 1,19 \%$$

$$\rho_{\text{max},1} = 0,75 \rho_b = \frac{0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 1,82\%$$

$$\rho_{\text{max},2} = 2,50 \%$$

$$\text{Cek As max} = \rho \leq \rho \text{ max (OK)}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_c' \times b} \\
 &= 169,987 \text{ mm} \\
 M_n &= A_s \times f_y \times \frac{d-a}{2} \\
 &= 840,587 \text{ kN-m} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} = 199,984 \text{ mm} \\
 \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c \times 0.003} = 0,007 \\
 \phi &= 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0.002)}{0.003 \times 0,25} \leq 0,9 \\
 &= 0,90 \\
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 756,528 \text{ kN-m} \\
 M_u &= 552,709 \text{ kN-m} \\
 \text{Cek Kapasitas} &= \phi M_n > M_u \text{ (OK)} \\
 \text{As Perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}} \\
 &= 2065,469 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

3. Desain Geser

a) Gaya Dalam

$$V_{u,\text{tumpuan}} = 266,263 \text{ kN}$$

$$V_{u,\text{lapangan}} = 384,1561 \text{ kN}$$

b) Gaya Desain

$$V_{g,\text{tumpuan}} = 37,8987 \text{ kN}$$

$$A_s^+ \text{ Tumpuan} = 3302,599 \text{ mm}^2 \text{ (As pasang tumpuan +)}$$

$$A_s^- \text{ Tumpuan} = 3302,599 \text{ mm}^2 \text{ (As pasang tumpuan -)}$$

$$a_{pr}^+ = 1,25 \times a \text{ (a tumpuan +)}$$

$$= 212,483 \text{ mm}$$

$$a_{pr}^- = 1,25 \times a \text{ (a tumpuan +)}$$

$$= 212,483 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^+ = A_s^+ \times (1,25 f_y) \times \frac{d - a_{pr}^+}{b \times d}$$

$$= 1013891720 \text{ N-mm}$$

$$M_{pr}^- = A_s^- \times (1,25 f_y) \times \frac{d - a_{pr}^-}{b \times d}$$

$$= 1013891720 \text{ N-mm}$$

$$V_{sway} \text{ atau } V_{pr} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{Ln}$$

$$= 349618 \text{ N}$$

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

$$= 387517 \text{ N}$$

Tahanan Geser Beton

$$V_{pr} = 349618 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \times V_e = 193758 \text{ N}$$

$$P_u = 63216,9 \text{ N}$$

$$\frac{A_g f_c'}{20} = 360000 \text{ N}$$

V_c tidak diperhitungkan karena, $V_c = 0$ jika $V_{pr} \geq 1/2 V_e$ dan $P_u < A_g f_c'/20$

Penulangan Geser

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

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

$$= 398,197 \text{ mm}^2$$

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

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

$$= 172,75 \text{ mm}$$

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

$$= 192 \text{ mm}$$

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

$$\text{Cek Spasi} = \text{OK}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= A_v \times f_y \times \frac{d}{s} \\
 &= 770431\text{N} \\
 \text{Batas } V_s &= 0,06 \times f'c^{0,5} \times b \times d \\
 &= 893691\text{N} \\
 \phi &= 0,75 \\
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 1000625 \text{ N} \\
 V_u &= 384156,1 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u &= 1,954 \\
 \text{Cek Kapasitas } \phi V_n / V_u &\geq 1 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

c) Lapangan

Penulangan Geser

Jumlah Kaki = 3

$$\begin{aligned}
 A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 398,197 \text{ mm}^2 \\
 \text{Spasi} &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Spasi Max} &= \frac{d}{2} \\
 &= 345,50 \text{ mm} \\
 \text{Cek Spasi} &= \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= A_v \times f_y \times \frac{d}{s} \\
 &= 770431\text{N} \\
 \text{Batas } V_s &= 0,06 \times f'c^{0,5} \times b \times d \\
 &= 893691\text{N} \\
 V_c &= 0,17 \times f'c^{0,5} \times b \times d \\
 &= 230193 \text{ N} \\
 \phi &= 0,75 \\
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 1000625 \text{ N} \\
 V_u &= 384156,1 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u &= 1,954 \\
 \text{Cek Kapasitas } \phi V_n / V_u &\geq 1 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

4. Desain Torsi

a) Parameter Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned}A_{cp} &= b \times h \\ &= 300000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2300 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_o &= b - 2c_c - d_s \\ &= 327 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y_o &= h - 2c_c - d_s \\ &= 677 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{oh} &= x_o \times y_o \\ &= 221379 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_o &= 0.85 A_{oh} \\ &= 188172 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_h &= 2 \times (x_o + y_o) \\ &= 2008 \text{ mm}\end{aligned}$$

b) Gaya Dalam

$$T_u = 29,7048 \text{ kN-m}$$

c) Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

$$\begin{aligned}T_{cr} &= 0,33 \times (f'c')^{0,5} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\ &= 63260735 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\phi T_{cr} / 4 = 11861388 \text{ N-mm}$$

Keperluan tulangan torsi = $T_u > \phi T_{cr} / 4$ (OK)

Maka, memerlukan tulangan torsi.

d) Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

Jenis Torsi = Statis Tak Tentu (Kompatibilitas)

$$\begin{aligned}T_u \text{ Pakai} &= \phi T_{cr} \text{ atau } T_u \\ &= 29704800 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

$$V_u = 387517 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}V_c &= 0.17 \times (f'c')^{0,5} \times b \times d \\ &= 246850 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan Ultimate Geser+Torsi} &= \left\{ \left[\frac{V_u}{b \times d} \right]^2 + \left[\frac{T_u p_h}{1,7 \times A_{oh}^2} \right]^2 \right\} \\ &= 1,574 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Tegangan Beton} &= \phi \left\{ \left[\frac{V_u}{b \times d} \right] + 0,06 \times (f'c)^{0,5} \right\} \\ &= 3,050 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Cek Dimensi Penampang, Ruas Kiri \leq Ruas Kanan (OK)

e) Parameter Umum Lainnya

f_y / f_{yt} = (Kuat Leleh Baja Tulangan Torsi sama dengan Kuat Leleh Baja Tulangan Lentur dan Geser) OK

θ (diambil untuk balok komponen struktur non prategang) = 45°

f) Penulangan Transversal

$$\text{Jumlah kaki tumpuan, } n = 4$$

$$\text{Jumlah kaki lapangan, } n = 4$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{Spasi max}_1 &= \frac{P_h}{8} \\ &= 251 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi max}_2 = 300 \text{ mm (SNI 2847:2013)}$$

Cek Spasi Tumpuan, $s_{\text{Tumpuan}} \geq s_{\text{max}}$ (OK)

Cek Spasi Lapangan, $s_{\text{Lapangan}} \geq s_{\text{max}}$ (OK)

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{\text{Tumpuan Pasang}} &= n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{d_s^2}{s} \\ &= 3,982 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{\text{Tumpuan Pasang}} &= n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{d_s^2}{s} \\ &= 3,982 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_t / s &= \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_y} \\ &= 0,251 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v / s_{\text{Tumpuan Perlu}} &= \frac{V_u \text{ tumpuan}}{\phi \cdot V_c} \\ &= \frac{V_u \text{ tumpuan}}{f_y \times d} \\ &= 2,671 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_v / s \text{ Lapangan Perlu} = \frac{V_u \text{ lapangan}}{\phi - V_c} = \frac{V_u \text{ lapangan}}{f_y \times d}$$

$$= 1,458 \text{ mm}$$

$$A_{v+t} / s \text{ Tumpuan Perlu} = 2 \times \frac{A_t}{S} \times \frac{A_v}{S}$$

$$= 1,959$$

$$A_{v+t} / s \text{ Lapangan Perlu} = 2 \times \frac{A_t}{S} \times \frac{A_v}{S}$$

$$= 1,959$$

$$A_{v+t} / s \text{ min 1} = 0.062 \times (f_c')^{0.5} \times \frac{b}{f_y}$$

$$= 0,289$$

$$A_{v+t} / s \text{ min 2} = 0.35 \times \frac{b}{f_y}$$

$$= 0,333$$

Cek Geser+Torsi Tumpuan, $A_{v+t} / s \text{ Pasang} \geq A_{v+t} / s \text{ Perlu dan min (OK)}$

Cek Geser+Torsi Lapangan, $A_{v+t} / s \text{ Pasang} \geq A_{v+t} / s \text{ Perlu dan min (OK)}$

g) Penulangan Longitudinal Torsi

$$d_b \text{ atau } d_{bt} = 13 \text{ mm}$$

$$d_b, \text{ min} = 0.042 \times s$$

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

Cek $d_b \geq d_b \text{ min (OK)}$

$$A_s \text{ Perlu Tumpuan Atas} = 2382,083 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Perlu Tumpuan Bawah} = 2361,192 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Perlu Lapangan Atas} = 2312,533 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Perlu Lapangan Bawah} = 2065,469 \text{ mm}^2$$

$$A_l = \frac{A_t}{S \times P_h}$$

$$= 503,146 \text{ mm}^2$$

$$A_l \text{ min} = 0.42 \times (f_c')^{0.5} \times \frac{A_c}{f_y} - \frac{A_t}{S} \times P_h$$

$$= 966,547 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Tumpuan} = 5709,822 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Lapangan} = 5344,549 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan atas} = 5$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan tengah} = 4$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan bawah} = 5$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah kaki tumpuan vertikal} &= \frac{2+n \text{ tengah}}{2} \\ &= 4\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah kaki lapangan atas} = 5$$

$$\text{Jumlah kaki lapangan tengah} = 4$$

$$\text{Jumlah kaki lapangan bawah} = 5$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah kaki tumpuan vertikal} &= \frac{2+n \text{ tengah}}{2} \\ &= 4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Spasi Horizontal Tumpuan} &= \frac{(b - 2 Cc - 2ds - n \times db)}{[\min (n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]} \\ &= 71 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Spasi Vertikal Tumpuan} &= \frac{h - 2 Cc - 2ds - db}{[n \text{ vertikal} - 1]} \\ &= 211 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Spasi Horizontal Lapangan} &= \frac{(b - 2 Cc - 2ds - n \times db)}{[\min (n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]} \\ &= 71 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Spasi Vertikal Lapangan} &= \frac{h - 2 Cc - 2ds - db}{[n \text{ vertikal} - 1]} \\ &= 211 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan, Syarat Spasi ≥ 300 mm (OK)

Cek Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan, Syarat Spasi ≥ 300 mm (OK)

$$A_s + A_l \text{ Pasang Tumpuan} = 8573,406 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Pasang Lapangan} = 8573,406 \text{ mm}^2$$

Cek Lentur + Torsi Tumpuan = $A_s + A_l \text{ Pasang} \geq A_s + A_l \text{ Perlu}$ (OK)

Cek Lentur + Torsi Lapangan = $A_s + A_l \text{ Pasang} \geq A_s + A_l \text{ Perlu}$ (OK)

5. Kesimpulan

Syarat Gaya dan Geometri, OK

Kapasitas Lentur, OK

Kapasitas Geser, OK

Kapasitas Torsi, OK

Tulangan Longitudinal

Longitudinal Tumpuan Atas, menggunakan 5 tulangan D32

Longitudinal Tumpuan Samping, menggunakan 4 tulangan D13

Longitudinal Tumpuan Bawah, menggunakan 5 tulangan D32

Longitudinal Lapangan Atas, menggunakan 5 tulangan D32

Longitudinal Lapangan Samping, menggunakan 4 tulangan D13

Longitudinal Lapangan Bawah, menggunakan 5 tulangan D32

Tulangan Transversal atau Sengkang

Sengkang Tumpuan menggunakan 3D tulangan 13 dengan spasi 100 mm

Sengkang Lapangan menggunakan 3D tulangan 13 dengan spasi 100 mm

2.9.2 Balok Induk II (400 x 600)

1. Data Balok

Panjang Balok, L = 3400 mm

Lebar Balok, b = 400 mm

Tinggi Balok, h = 600 mm

Panjang Tumpuan $2 \times h = 1200$ mm

Diameter Tulangan Longitudinal, $d_b = 32$ mm

Diameter Tulangan Pinggang, $d_{bt} = 13$ mm

Diameter Tulangan Sengkang, $d_s = 13$ mm

Selimut bersih, $c_c = 40$ mm

Tinggi Efektif Beton, $d = \frac{h - c_c - d_s - d_b}{2} = 531$ mm

Kuat Tekan Beton, $f_c' = 25$ MPa

Kuat Leleh Tulangan Longitudinal, $f_y = 420$ MPa

Kuat Leleh Tulangan Transversal, $f_y = 280$ MPa

$\beta_1 = 0,65 \leq 0,85 - 0,05 \times \frac{f_{cr} - 28}{7} \leq 0,85$

= 0,85

$$\begin{aligned} \text{Panjang Kolom, } C_1 &= 600 \text{ mm} \\ \text{Panjang Kolom, } C_2 &= 600 \text{ mm} \\ L_n &= L - C_1 = 2800 \text{ mm} \\ \lambda &= 1 \end{aligned}$$

2. Desain Lentur

a) Gaya Dalam

$$\begin{aligned} M_u, \text{ tumpuan (-)} &= -445,6474 \text{ kN-m} \\ M_u, \text{ tumpuan (+)} &= 421,2301 \text{ kN-m} \\ M_u, \text{ lapangan (-)} &= -489,0347 \text{ kN-m} \\ M_u, \text{ lapangan (+)} &= 482,0194 \text{ kN-m} \\ P_u &= 61,7711 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Syarat Gaya dan Geometri

$$\begin{aligned} \text{Syarat Gaya Aksial} &= P_u \leq 0.1 A_g f_c' \text{ (OK)} \\ \text{Syarat Tinggi Efektif} &= L_n \geq 4d \text{ (OK)} \\ \text{Syarat Lebar 1} &= b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm}) \text{ (OK)} \\ \text{Syarat Lebar 2} &= b \leq c_2 + 2 * \min(c_2, 0.75 c_1) \text{ (OK)} \end{aligned}$$

c) Penulangan Lentur

Tumpuan Negatif

Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, $n = 5$

$$d_b = 29 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 37,250 \text{ mm}$$

Cek Jarak Bersih = Jarak bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (OK)

Jumlah Lapis = 1

$$\begin{aligned} \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 3302,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ min},1} = \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 632,143 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min},2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 708,000 \text{ mm}^2$$

Cek $A_{s \text{ min}}$ = As Pasang $\geq A_{s \text{ min}}$ (OK)

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = 1,55 \%$$

$$\rho_{\max,1} = 0,75 \rho_b = \frac{0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f_{c'} }{f_y \times \frac{600}{600+f_y}} = 1,90\%$$

$$\rho_{\max,2} = 2,50 \%$$

$$\text{Cek As max} = \rho \leq \rho \text{ max (OK)}$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0.85 \times f_{c'} \times b} = 163,187 \text{ mm}$$

$$M_n = As \times f_y \times \frac{d-a}{2} = 623,368 \text{ kN-m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 191,985 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d-c)}{c \times 0.003} = 0,005$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0.002)}{0.003 \times 0,25} \leq 0,9 = 0,90$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n = 561,031 \text{ kN-m}$$

$$M_{u, \text{ tumpuan (-)}} = 445,647 \text{ kN-m}$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$$

$$As \text{ Perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}} = 2361,037 \text{ mm}^2$$

Tumpuan Positif

Jumlah Tulangan Positif Tumpuan, $n= 4$

$$d_b = 29 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 59,333 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Jarak Bersih} = \text{Jarak bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (OK)}$$

Jumlah Lapis = 1

$$As \text{ Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 2642,079 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min,1} = \sqrt{\frac{(f_{c'})}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 632,143 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min,2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 708,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min,3} = 0,5 \times A_s \text{ Tumpuan Negatif} = 1651,300 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek } A_{s \min} = A_s \text{ Pasang} \geq A_{s \min} \text{ (OK)}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = 1,24 \%$$

$$\rho_{\max,1} = 0,75 \rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 1,90\%$$

$$\rho_{\max,2} = 2,50 \%$$

$$\text{Cek } A_s \text{ max} = \rho \leq \rho \text{ max (OK)}$$

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

$$= 130,550 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \frac{d-a}{2}$$

$$= 516,803 \text{ kN-m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 153,588 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d-c)}{c \times 0,003} = 0,007$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0,002)}{0,003 \times 0,25} \leq 0,9$$

$$= 0,90$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 465,122 \text{ kN-m}$$

$$M_u = 421,230 \text{ kN-m}$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$$

$$A_s \text{ Perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}}$$

$$= 2153,478 \text{ mm}^2$$

Lapangan Negatif

Jumlah Tulangan Negatif Lapangan, $n= 5$

$$d_b = 29 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 37,250 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Jarak Bersih} = \text{Jarak bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (OK)}$$

Jumlah Lapis = 1

$$A_s \text{ Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 3302,599 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min,1} = \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 632,143 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min,2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 708,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min,3} = 0,5 \times A_s \text{ Tumpuan Negatif} = 825,650 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek } A_{s \min} = A_s \text{ Pasang} \geq A_{s \min} \text{ (OK)}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = 1,55\%$$

$$\rho_{\max,1} = 0,75 \rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 1,90\%$$

$$\rho_{\max,2} = 2,50\%$$

$$\text{Cek } A_{s \max} = \rho \leq \rho_{\max} \text{ (OK)}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= 163,187 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \frac{d-a}{2}$$

$$= 623,368 \text{ kN-m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 191,985 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d-c)}{c \times 0,003} = 0,005$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0,002)}{0,003 \times 0,25} \leq 0,9$$

$$= 0,90$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 561,031 \text{ kN-m}$$

$$M_u = 489,035 \text{ kN-m}$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$$

$$A_s \text{ Perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}}$$

$$= 2590,903 \text{ mm}^2$$

Lapangan Positif

Jumlah Tulangan Negatif Lapangan, $n= 5$

$$d_b = 29 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 37,250 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Jarak Bersih} = \text{Jarak bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (OK)}$$

Jumlah Lapis = 1

$$\text{As Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 3302,599 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,1} = \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 632,143 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 708,000 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,3} = 0,5 \times \text{As Tumpuan Negatif} = 825,650 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek As}_{\min} = \text{As Pasang} \geq \text{As}_{\min} \text{ (OK)}$$

$$\rho = \frac{\text{As}}{b \times d} = 1,55 \%$$

$$\rho_{\max,1} = 0,75 \rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 1,90\%$$

$$\rho_{\max,2} = 2,50 \%$$

$$\text{Cek As}_{\max} = \rho \leq \rho_{\max} \text{ (OK)}$$

$$a = \frac{\text{As} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = 163,187 \text{ mm}$$

$$M_n = \text{As} \times f_y \times \frac{d-a}{2} = 623,368 \text{ kN-m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 191,985 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d - c)}{c \times 0,003} = 0,005$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0,002)}{0,003 \times 0,25} \leq 0,9 = 0,90$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n = 561,031 \text{ kN-m}$$

$$M_u = 482,019 \text{ kN-m}$$

$$\text{Cek Kapasitas} = \phi M_n > M_u \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} \text{As Perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}} \\ &= 2553,736 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3. Desain Geser

a) Gaya Dalam

$$V_{u,tumpuan} = 596,441 \text{ kN}$$

$$V_{u,lapangan} = 592,6203 \text{ kN}$$

b) Gaya Desain

$$V_{g,tumpuan} = 20,6598 \text{ kN}$$

$$A_s^+ \text{ Tumpuan} = 2642,079 \text{ mm}^2 \text{ (As pasang tumpuan +)}$$

$$A_s^- \text{ Tumpuan} = 3302,599 \text{ mm}^2 \text{ (As pasang tumpuan -)}$$

$$a_{pr}^+ = 1,25 \times a \text{ (a tumpuan +)}$$

$$= 163,187 \text{ mm}$$

$$a_{pr}^- = 1,25 \times a \text{ (a tumpuan -)}$$

$$= 203,984 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^+ = A_s^+ \times (1,25 f_y) \times \frac{d - a_{pr}^+}{b \times d}$$

$$= 623367845 \text{ N-mm}$$

$$M_{pr}^- = A_s^- \times (1,25 f_y) \times \frac{d - a_{pr}^-}{b \times d}$$

$$= 743841730 \text{ N-mm}$$

$$V_{\text{sway atau } V_{pr}} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{L_n}$$

$$= 488289 \text{ N}$$

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

$$= 508949 \text{ N}$$

Tahanan Geser Beton

$$V_{pr} = 488289 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \times V_c = 254474 \text{ N}$$

$$P_u = 61771,1 \text{ N}$$

$$\frac{A_g f_c'}{20} = 300000 \text{ N}$$

V_c tidak diperhitungkan karena, $V_c = 0$ jika $V_{pr} \geq 1/2 V_c$ dan $P_u < A_g f_c'/20$

Penulangan Geser

Jumlah Kaki = 4

$A_v = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 530,929 \text{ mm}^2$

Spasi = 100 mm

Spasi Max 1 = $\frac{d}{4} = 132,75 \text{ mm}$

Spasi Max 2 = $6 \cdot d_b = 192,00 \text{ mm}$

Spasi Max 3 = 150 mm

Cek Spasi = OK

$V_s = A_v \times f_y \times \frac{d}{s}$
= 789385 N

Batas $V_s = 0,06 \times f_c^{0,5} \times b \times d$
= 700920 N

$\phi = 0,75$

$V_n = V_c + V_s$
= 700920 N

$V_u = 508949 \text{ N}$

$\phi V_n / V_u = 1,033$

Cek Kapasitas $\phi V_n / V_u \geq 1$ (OK)

c) Lapangan

Penulangan Geser

Jumlah Kaki = 4

$A_v = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$
= 530,929 mm²

Spasi = 100 mm

Spasi Max = $\frac{d}{2}$
= 265,50 mm

Cek Spasi = OK

$$\begin{aligned}
 V_s &= A_v \times f_y \times \frac{d}{s} \\
 &= 789385 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s &= 0,06 \times f'c^{0,5} \times b \times d \\
 &= 700920 \text{ N} \\
 V_c &= 0,17 \times f'c^{0,5} \times b \times d \\
 &= 180540 \text{ N} \\
 \phi &= 0,75 \\
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 881460 \text{ N} \\
 V_u &= 592620,3 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u &= 1,116 \\
 \text{Cek Kapasitas } \phi V_n / V_u &\geq 1 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

4. Desain Torsi

a) Parameter Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b \times h \\
 &= 240000 \text{ mm}^2 \\
 P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\
 &= 2000 \text{ mm} \\
 x_o &= b - 2c_c - d_s \\
 &= 307 \text{ mm} \\
 y_o &= h - 2c_c - d_s \\
 &= 507 \text{ mm} \\
 A_{oh} &= x_o \times y_o \\
 &= 155649 \text{ mm}^2 \\
 A_o &= 0,85 A_{oh} \\
 &= 132302 \text{ mm}^2 \\
 P_h &= 2 \times (x_o + y_o) \\
 &= 1628 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b) Gaya Dalam

$$T_u = 10,8278 \text{ kN-m}$$

c) Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

$$T_{cr} = 0,33 \times (f'c)^{0,5} \times \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}$$

$$= 47520000 \text{ N-mm}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\phi T_{cr} / 4 = 8910000 \text{ N-mm}$$

Keperluan tulangan torsi = $T_u > \phi T_{cr} / 4$ (OK)

Maka, memerlukan tulangan torsi.

d) Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

Jenis Torsi = Statis Tak Tentu (Kompatibilitas)

T_u Pakai = ϕT_{cr} atau T_u

$$= 10827800 \text{ N-mm}$$

$$V_u = 508949 \text{ N}$$

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

$$= 180540 \text{ N}$$

$$\text{Tegangan Ultimate Geser+Torsi} = \left\{ \left[\frac{V_u}{b \times d} \right]^2 + \left[\frac{T_u p_h}{1,7 \times A_{oh}^2} \right]^2 \right\}$$

$$= 2,434 \text{ MPa}$$

$$\text{Kapasitas Tegangan Beton} = \phi \left\{ \left[\frac{V_u}{b \times d} \right] + 0,06 \times (f'c)^{0,5} \right\}$$

$$= 3,113 \text{ MPa}$$

Cek Dimensi Penampang, Ruas Kiri \leq Ruas Kanan (OK)

e) Parameter Umum Lainnya

f_y / f_{yt} = (Kuat Leleh Baja Tulangan Torsi sama dengan Kuat Leleh Baja Tulangan Lentur dan Geser) OK

$$\theta = (\text{diambil untuk balok komponen struktur non prategang}) = 45^\circ$$

f) Penulangan Transversal

Jumlah kaki tumpuan, n = 5

Jumlah kaki lapangan, n = 5

Spasi tumpuan = 100 mm

Spasi Lapangan = 100 mm

Spasi max₁ = $\frac{P_h}{8}$
= 204 mm

Spasi max₂ = 300 mm (SNI 2847:2013)

Cek Spasi Tumpuan, s Tumpuan \geq s max (OK)

Cek Spasi Lapangan, s Lapangan \geq s max (OK)

A_{v+t} / s Tumpuan Pasang = $n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{d_s^2}{s}$
= 6,637 mm

A_{v+t} / s Tumpuan Pasang = $n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{d_s^2}{s}$
= 6,637 mm

A_t / s = $\frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_y}$
= 0,130 mm

A_v / s Tumpuan Perlu = $\frac{V_u \text{ tumpuan}}{\phi - V_c}$
 $f_y \times d$
= 4,564 mm

A_v / s Lapangan Perlu = $\frac{V_u \text{ lapangan}}{\phi - V_c}$
 $f_y \times d$
= 4,100 mm

A_{v+t} / s Tumpuan Perlu = $2 \times \frac{A_t}{s} \times \frac{A_v}{s}$
= 4,824

A_{v+t} / s Lapangan Perlu = $2 \times \frac{A_t}{s} \times \frac{A_v}{s}$
= 4,360

A_{v+t} / s min 1 = $0.062 \times (f_c')^{0.5} \times \frac{b}{f_y}$
= 0,295

A_{v+t} / s min 2 = $0.35 \times \frac{b}{f_y}$
= 0,333

Cek Geser+Torsi Tumpuan, $A_{v+t} / s \text{ Pasang} \geq A_{v+t} / s \text{ Perlu}$ dan min (OK)

Cek Geser+Torsi Lapangan, $A_{v+t} / s \text{ Pasang} \geq A_{v+t} / s \text{ Perlu}$ dan min (OK)

g) Penulangan Longitudinal Torsi

$$d_b \text{ atau } d_{bt} = 13 \text{ mm}$$

$$d_b, \text{ min} = 0.042 \times s \\ = 4,2 \text{ mm}$$

Cek $d_b \geq d_b \text{ min}$ (OK)

$$A_s \text{ Perlu Tumpuan Atas} = 2361,037 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Perlu Tumpuan Bawah} = 2153,478 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Perlu Lapangan Atas} = 2590,903 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Perlu Lapangan Bawah} = 2553,7369 \text{ mm}^2$$

$$A_l = \frac{A_t}{s \times P_h} \\ = 211,490 \text{ mm}^2$$

$$A_l \text{ min} = 0.42 \times (f_c')^{0.5} \times \frac{A_c}{f_y} - \frac{A_t}{s} \times P_h \\ = 988,510 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Tumpuan} = 5503,026 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Lapangan} = 6133,150 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan atas} = 5$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan tengah} = 4$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan bawah} = 4$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan vertikal} = \frac{2+n \text{ tengah}}{2} \\ = 4$$

$$\text{Jumlah kaki lapangan atas} = 5$$

$$\text{Jumlah kaki lapangan tengah} = 4$$

$$\text{Jumlah kaki lapangan bawah} = 5$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan vertikal} = \frac{2+n \text{ tengah}}{2} \\ = 4$$

$$\text{Spasi Horizontal Tumpuan} = \frac{(b - 2 C_c - 2ds - n \times db)}{[\text{min}(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]}$$

$$= 87 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Vertikal Tumpuan} = \frac{h - 2 Cc - 2ds - db}{[n \text{ vertikal} - 1]}$$

$$= 154 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Horizontal Lapangan} = \frac{(b - 2 Cc - 2ds - n \times db)}{[\min (n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]}$$

$$= 66 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Vertikal Lapangan} = \frac{h - 2 Cc - 2ds - db}{[n \text{ vertikal} - 1]} = 154 \text{ mm}$$

Cek Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan, Syarat Spasi ≥ 300 mm (OK)

Cek Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan, Syarat Spasi ≥ 300 mm (OK)

$$A_s + A_l \text{ Pasang Tumpuan} = 7769,159 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Pasang Lapangan} = 8573,406 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek Lentur} + \text{Torsi Tumpuan} = A_s + A_l \text{ Pasang} \geq A_s + A_l \text{ Perlu (OK)}$$

$$\text{Cek Lentur} + \text{Torsi Lapangan} = A_s + A_l \text{ Pasang} \geq A_s + A_l \text{ Perlu (OK)}$$

5. Kesimpulan

Syarat Gaya dan Geometri, OK

Kapasitas Lentur, OK

Kapasitas Geser, OK

Kapasitas Torsi, OK

Tulangan Longitudinal :

Longitudinal Tumpuan Atas, menggunakan 5 tulangan D32

Longitudinal Tumpuan Samping, menggunakan 4 tulangan D13

Longitudinal Tumpuan Bawah, menggunakan 4 tulangan D32

Longitudinal Lapangan Atas, menggunakan 5 tulangan D32

Longitudinal Lapangan Samping, menggunakan 4 tulangan D13

Longitudinal Lapangan Bawah, menggunakan 5 tulangan D32

Tulangan Transversal atau Sengkang :

Sengkang Tumpuan menggunakan 4D tulangan 13 dengan spasi 100 mm

Sengkang Lapangan menggunakan 4D tulangan 13 dengan spasi 100 mm

2.9.3 Balok Anak (250 x 500)

4. Data Balok

Panjang Balok, L	= 4400 mm
Lebar Balok, b	= 250 mm
Tinggi Balok, h	= 500 mm
Panjang Tumpuan	$2 \times h = 1000$ mm
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b	= 29 mm
Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt}	= 13 mm
Diameter Tulangan Sengkang, d_s	= 13 mm
Selimut bersih, c_c	= 40 mm
Tinggi Efektif Beton, d	$= \frac{h - c_c - d_s - d_b}{2} = 531$ mm
Kuat Tekan Beton, f_c'	= 25 MPa
Kuat Leleh Tulangan Longitudinal, f_y	= 420 MPa
Kuat Leleh Tulangan Transversal, f_y	= 280 MPa
β_1	$= 0,65 \leq 0,85 - 0,05 \times \frac{f_{cr} - 28}{7} \leq 0,85$ = 0,85
Panjang Kolom, C_1	= 600 mm
Panjang Kolom, C_2	= 600 mm
L_n	= $L - C_1 = 5800$ mm
λ	= 1

5. Desain Lentur

a) Gaya Dalam

M_u , tumpuan (-)	= -111,571 kN-m
M_u , tumpuan (+)	= 40,8949 kN-m
M_u , lapangan (-)	= -6,1114 kN-m
M_u , lapangan (+)	= 64,9497 kN-m
P_u	= 6,6689 kN

b) Syarat Gaya dan Geometri

Syarat Gaya Aksial	= $P_u \leq 0.1 A_g f_c'$ (OK)
Syarat Tinggi Efektif	= $L_n \geq 4d$ (OK)
Syarat Lebar 1	= $b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm})$ (OK)
Syarat Lebar 2	= $b \leq c_2 + 2 * \min(c_2, 0.75 c_1)$ (OK)

c) Penulangan Lentur

Tumpuan Negatif

Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, $n = 3$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 44,500 \text{ mm}$$

Cek Jarak Bersih = Jarak bersih \geq d_b dan 25 mm (OK)

Jumlah Lapis = 1

$$\begin{aligned} \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 1472,622 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As}_{\min,1} = \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 322,589 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\min,2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 368,750 \text{ mm}^2$$

Cek As min = As Pasang \geq As min (OK)

$$\rho = \frac{\text{As}}{b \times d} = 1,33 \%$$

$$\rho_{\max,1} = 0,75 \rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 1,82\%$$

$$\rho_{\max,2} = 2,50 \%$$

Cek As max = $\rho \leq \rho_{\max}$ (OK)

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= 212,275 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \text{As} \times f_y \times \frac{d-a}{2} \\ &= 236,182 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 142,676 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d - c)}{c \times 0,003} = 0,006$$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0,002)}{0,003 \times 0,25} \leq 0,9 \\ &= 0,90 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n = 212,564 \text{ kN-m}$$

$$M_u, \text{ tumpuan (-)} = 111,571 \text{ kN-m}$$

Cek Kapasitas = $\phi M_n > M_u$ (OK)

$$A_s \text{ Perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}} = 695,655 \text{ mm}^2$$

Tumpuan Positif

Jumlah Tulangan Positif Tumpuan, $n=2$

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

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 120,000 \text{ mm}$$

Cek Jarak Bersih = Jarak bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (OK)

Jumlah Lapis = 1

$$A_s \text{ Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 = 760,265 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min},1} = \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 322,589 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min},2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 368,750 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min},3} = 0,5 \times A_s \text{ Tumpuan Negatif} = 736,311 \text{ mm}^2$$

Cek $A_{s \text{ min}}$ = $A_s \text{ Pasang} \geq A_{s \text{ min}}$ (OK)

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = 1,24 \%$$

$$\rho_{\text{max},1} = 0,75 \rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 0,690\%$$

$$\rho_{\text{max},2} = 2,50 \%$$

Cek $A_s \text{ max}$ = $\rho \leq \rho \text{ max}$ (OK)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = 62,610 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \frac{d-a}{2} = 131,299 \text{ kN-m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 73,659 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d-c)}{c \times 0,003} = 0,0015$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0,002)}{0,003 \times 0,25} \leq 0,9 = 0,90$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n = 118,169 \text{ kN-m}$$

$$M_u = 40,895 \text{ kN-m}$$

Cek Kapasitas = $\phi M_n > M_u$ (OK)

$$A_s \text{ Perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}} = 236,795 \text{ mm}^2$$

Lapangan Negatif

Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, $n = 3$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} = \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 44,500 \text{ mm}$$

Cek Jarak Bersih = Jarak bersih $\geq d_b$ dan 25 mm (OK)

Jumlah Lapis = 1

$$A_s \text{ Pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$
$$= 1472,622 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min},1} = \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 322,589 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min},2} = \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 368,750 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min},3} = 0,5 \times A_s \text{ Tumpuan Negatif} = 368,155 \text{ mm}^2$$

Cek $A_{s \text{ min}}$ = $A_s \text{ Pasang} \geq A_{s \text{ min}}$ (OK)

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = 1,33\%$$

$$\rho_{\text{max},1} = 0,75 \rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 1,82\%$$

$$\rho_{\text{max},2} = 2,50\%$$

Cek $A_s \text{ max}$ = $\rho \leq \rho \text{ max}$ (OK)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$
$$= 121,275 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \frac{d-a}{2}$$
$$= 236,182 \text{ kN-m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 142,676 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d-c)}{c \times 0,003} = 0,006$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0,002)}{0,003 \times 0,25} \leq 0,9$$
$$= 0,90$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 212,564 \text{ kN-m} \\ M_u &= 6,111 \text{ kN-m} \\ \text{Cek Kapasitas} &= \phi M_n > M_u \text{ (OK)} \\ \text{As Perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}} \\ &= 38,105 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Lapangan Positif

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, } n &= 2 \\ d_b &= 22 \text{ mm} \\ \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{b - 2 C_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} = 120,000 \text{ mm} \\ \text{Cek Jarak Bersih} &= \text{Jarak bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm (OK)} \\ \text{Jumlah Lapis} &= 1 \\ \text{As Pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 760,265 \text{ mm}^2 \\ A_{S \text{ min},1} &= \sqrt{\frac{(f_c')}{(4 \times f_y) \times b \times d}} = 322,589 \text{ mm}^2 \\ A_{S \text{ min},2} &= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} = 368,750 \text{ mm}^2 \\ A_{S \text{ min},3} &= 0,5 \times \text{As Tumpuan Negatif} = 368,155 \text{ mm}^2 \\ \text{Cek As}_{\text{min}} &= \text{As Pasang} \geq \text{As}_{\text{min}} \text{ (OK)} \\ \rho &= \frac{A_s}{b \times d} = 0,69\% \\ \rho_{\text{max},1} &= 0,75 \rho_b = \frac{0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y \times \frac{600}{600 + f_y}} = 1,82\% \\ \rho_{\text{max},2} &= 2,50 \% \\ \text{Cek As}_{\text{max}} &= \rho \leq \rho_{\text{max}} \text{ (OK)} \\ a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= 62,610 \text{ mm} \\ M_n &= A_s \times f_y \times \frac{d-a}{2} \\ &= 131,299 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 73,659 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{(d - c)}{c \times 0.003} = 0,015$$

$$\phi = 0,65 \leq \frac{65 + (\epsilon_s - 0.002)}{0.003 \times 0,25} \leq 0,9$$

$$= 0,90$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 118,169 \text{ kN-m}$$

$$M_u = 64,950 \text{ kN-m}$$

Cek Kapasitas = $\phi M_n > M_u$ (OK)

$$\text{As Perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \frac{d-a}{2}}$$

$$= 376,080 \text{ mm}^2$$

6. Desain Geser

a) Gaya Dalam

$$V_{u,tumpuan} = 81,0877 \text{ kN}$$

$$V_{u,lapangan} = 45,765 \text{ kN}$$

b) Gaya Desain

$$V_{g,tumpuan} = 29,5933 \text{ kN}$$

$$A_s^+ \text{ Tumpuan} = 760,2659 \text{ mm}^2 \text{ (As pasang tumpuan +)}$$

$$A_s^- \text{ Tumpuan} = 1472,622 \text{ mm}^2 \text{ (As pasang tumpuan -)}$$

$$a_{pr}^+ = 1,25 \times a \text{ (a tumpuan +)}$$

$$= 78,263 \text{ mm}$$

$$a_{pr}^- = 1,25 \times a \text{ (a tumpuan -)}$$

$$= 151,593 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^+ = A_s^+ \times (1,25 f_y) \times \frac{d - a_{pr}^+}{b \times d}$$

$$= 161000316 \text{ N-mm}$$

$$M_{pr}^- = A_s^- \times (1,25 f_y) \times \frac{d - a_{pr}^-}{b \times d}$$

$$= 283507974 \text{ N-mm}$$

$$V_{sway} \text{ atau } V_{pr} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{L_n}$$

$$= 76639 \text{ N}$$

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

$$= 106233 \text{ N}$$

Tahanan Geser Beton

$$V_{pr} = 76639 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \times V_e = 53116 \text{ N}$$

$$P_u = 6668,9 \text{ N}$$

$$\frac{A_g f_c'}{20} = 150000 \text{ N}$$

V_c tidak diperhitungkan karena, $V_c = 0$ jika $V_{pr} \geq 1/2 V_e$ dan $P_u < A_g f_c'/20$

Penulangan Geser

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

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

$$= 398,197 \text{ mm}^2$$

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

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

$$= 110,63 \text{ mm}$$

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

$$= 174,00 \text{ mm}$$

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

$$\text{Cek Spasi} = \text{OK}$$

$$V_s = A_v \times f_y \times \frac{d}{s}$$

$$= 493366 \text{ N}$$

$$\text{Batas } V_s = 0,06 \times f_c'^{0,5} \times b \times d$$

$$= 357687 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 357687 \text{ N}$$

$$V_u = 106233 \text{ N}$$

$$\phi V_n / V_u = 2,525$$

Cek Kapasitas $\phi V_n / V_u \geq 1$ (OK)

c) Lapangan

Penulangan Geser

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

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 265,465 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Spasi Max} &= \frac{d}{2} \\ &= 221,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek Spasi} = \text{OK}$$

$$\begin{aligned} V_s &= A_v \times f_y \times \frac{d}{s} \\ &= 328911 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,06 \times f_c^{0,5} \times b \times d \\ &= 357687 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times f_c^{0,5} \times b \times d \\ &= 92131 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 421042 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 45765 \text{ N}$$

$$\phi V_n / V_u = 6,900$$

Cek Kapasitas $\phi V_n / V_u \geq 1$ (OK)

7. Penulangan Longitudinal Torsi

$$d_b \text{ atau } d_{bt} = 13 \text{ mm}$$

$$d_{b, \text{ min}} = 0.042 \times s$$

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

Cek $d_b \geq d_{b \text{ min}}$ (OK)

$$A_s \text{ Perlu Tumpuan Atas} = 695,655 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Perlu Tumpuan Bawah} = 236,795 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Perlu Lapangan Atas} = 38,105 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ Perlu Lapangan Bawah} = 376,080 \text{ mm}^2$$

$$A_l = \frac{A_t}{s \times P_h}$$

$$= 47,201 \text{ mm}^2$$

$$A_l \text{ min} = 0.42 \times (f_c')^{0.5} \times \frac{A_c}{f_y} - \frac{A_t}{s} \times P_h$$

$$= 565,172 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Tumpuan} = 1497,621 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Lapangan} = 979,357 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan atas} = 3$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan tengah} = 2$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan bawah} = 2$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan vertikal} = \frac{2+n \text{ tengah}}{2}$$

$$= 3$$

$$\text{Jumlah kaki lapangan atas} = 3$$

$$\text{Jumlah kaki lapangan tengah} = 4$$

$$\text{Jumlah kaki lapangan bawah} = 2$$

$$\text{Jumlah kaki tumpuan vertikal} = \frac{2+n \text{ tengah}}{2}$$

$$= 4$$

$$\text{Spasi Horizontal Tumpuan} = \frac{(b - 2 C_c - 2ds - n \times db)}{[\text{min}(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]}$$

$$= 135 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Vertikal Tumpuan} = \frac{h - 2 C_c - 2ds - db}{[n \text{ vertikal} - 1]} = 193 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Horizontal Lapangan} &= \frac{(b - 2 Cc - 2ds - n \times db)}{[\min (n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]} \\ &= 135 \text{ mm} \end{aligned}$$

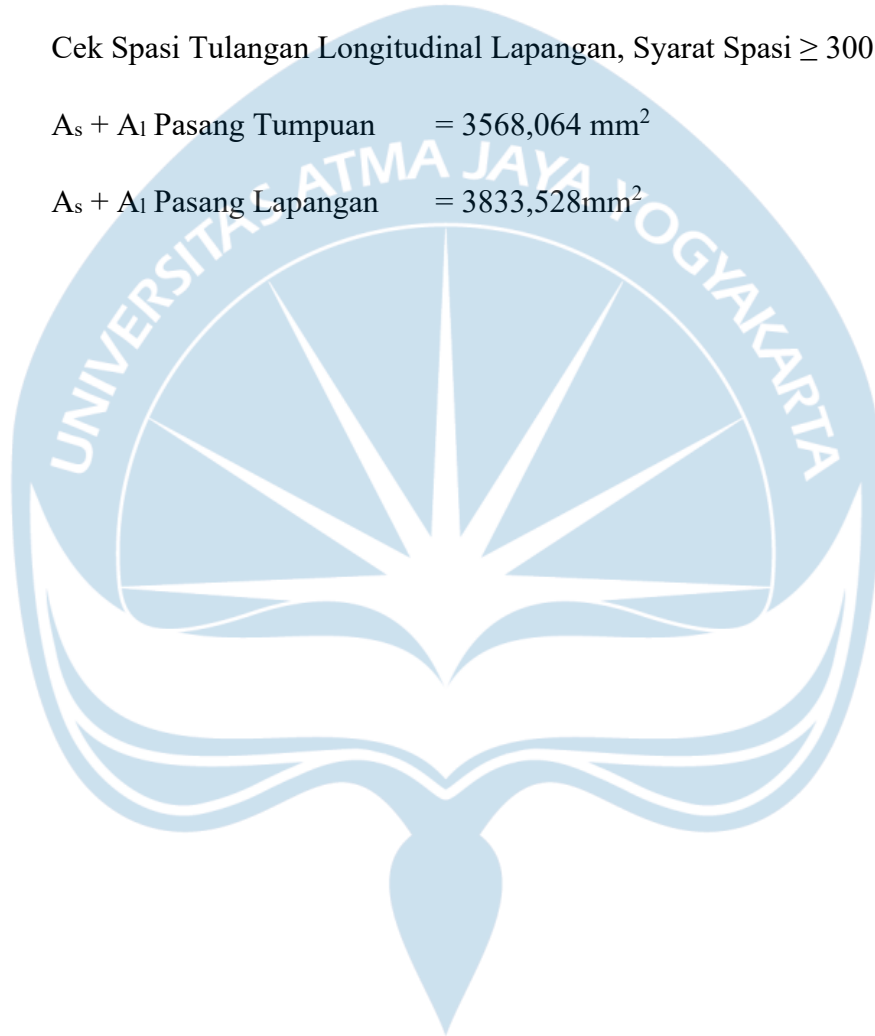
$$\text{Spasi Vertikal Lapangan} = \frac{h - 2 Cc - 2ds - db}{[n \text{ vertikal} - 1]} = 128 \text{ mm}$$

Cek Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan, Syarat Spasi ≥ 300 mm (OK)

Cek Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan, Syarat Spasi ≥ 300 mm (OK)

$$A_s + A_1 \text{ Pasang Tumpuan} = 3568,064 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_1 \text{ Pasang Lapangan} = 3833,528 \text{ mm}^2$$



8. Kesimpulan

Syarat Gaya dan Geometri, OK

Kapasitas Lentur, OK

Kapasitas Geser, OK

Kapasitas Torsi, OK

Tulangan Longitudinal :

Longitudinal Tumpuan Atas, menggunakan 3 tulangan D29

Longitudinal Tumpuan Bawah menggunakan 2 tulangan D29

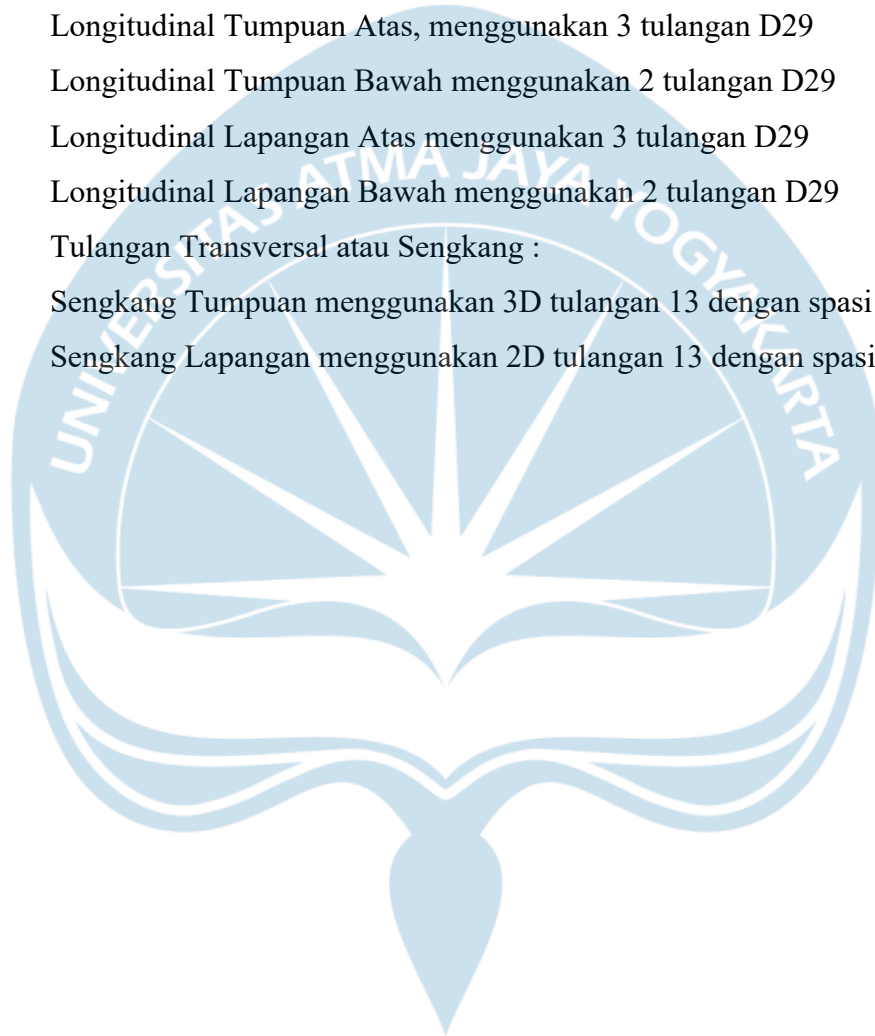
Longitudinal Lapangan Atas menggunakan 3 tulangan D29

Longitudinal Lapangan Bawah menggunakan 2 tulangan D29

Tulangan Transversal atau Sengkang :

Sengkang Tumpuan menggunakan 3D tulangan 13 dengan spasi 100 mm

Sengkang Lapangan menggunakan 2D tulangan 13 dengan spasi 100 mm



2.10 Perancangan Kolom

Pada perancangan kolom untuk Pondok Pesantren Assalafiyah memakai hasil analisis *software* ETABS 2019 dan kembali dirancang lalu di analisis dengan bantuan *software* SP Column untuk memperhitungkan desain gaya geser. Ukuran yang digunakan dalam mendesain bangunan ini ada 600 x 600 milimeter dan berikut penjelasannya.

2.10.1 Hubungan Balok Induk I Terhadap Kolom

Berikut analisis hubungan antar kolom (600 x 600 mm) dan balok induk I (400 x 750 mm):

9. Data Kolom terhadap Balok Induk I

Panjang atau Tinggi Kolom, L	= 4000 mm
Sisi Pendek Kolom, b	= 600 mm
Sisi Panjang Kolom, h	= 600 mm
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b	= 36 mm
Diameter Tulangan Sengkang, d_s	= 16 mm
Selimut Bersih, c_c	= 40 mm
Kuat Tekan Beton, f_c'	= 25 MPa
Kuat Leleh Baja Tulangan, f_y	= 420 MPa
Tinggi Balok, h_{b1}	= 750 mm
L_n	= $L - h_{b1}$ = 3250 mm

6. Desain Longitudinal

a) Syarat Gaya dan Geometri

Syarat gaya aksial, $P_u > 0.1 A_g f_c'$ (OK)

Syarat Sisi Terpendek, $b \geq 300$ mm(OK)

Syarat Rasio Dimensi Penampang = $b/h \geq 0.4$ (OK)

b) Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan SP Column)

Jumlah Tulangan, n = 20

Luas Tulangan Longitudinal, A_s = $n \times \frac{d_s^2}{s} \times d_b^2$
= 20357,5 mm²

$$\text{Rasio Tulangan, } \rho = \frac{A_s}{b \times h} = 5,65\%$$

Cek ρ_{\min} dan ρ_{\max} , dengan syarat $1\% \leq \rho \leq 6\%$ (OK)

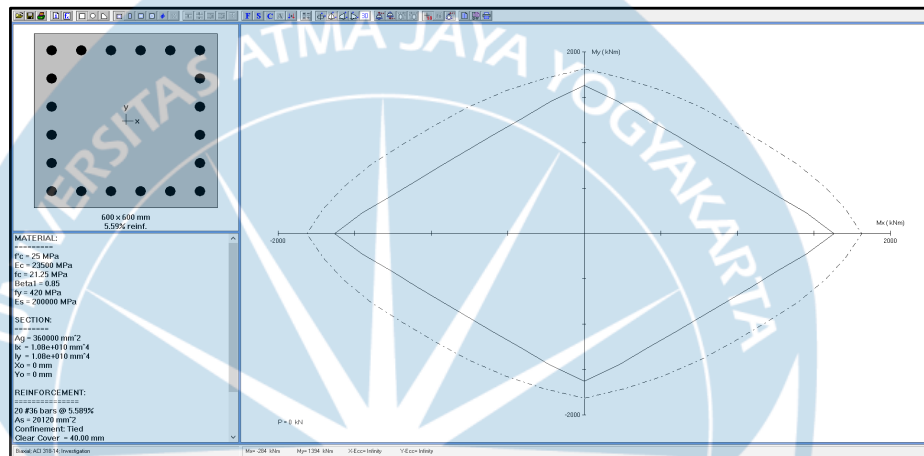
c) Pengecekan *Strong Column - Weak Beam* (SCWB)

Momen Nominal Kolom, $M_{nc} = 1845,67 \text{ kN-m}$

M_n^- Tumpuan Balok = 842,667 kN-m

M_n^+ Tumpuan Balok = 842,667 kN-m

Cek syarat, yaitu $2 * M_{nc} \geq 1.2 * (M_n^- + M_n^+)$ (OK)



Gambar 2. 33 Output SPColumn (1)

No	P_u kN	M_{ux} kNm	M_{uy} kNm	ϕM_{nx} kNm	ϕM_{ny} kNm	$\phi M_u/M_u$	NA Depth mm	d_c Depth mm	ϵ_t	ϕ
1	-1418,84	274,58	118,23	1205,26	-518,99	4.390	267	712	0,005	0,9
2	2625,78	-539,48	-711,32	-597,2	-787,43	1.107	459	761	0,00198	0,65
3	446,82	605,99	284,38	1119,96	525,58	1.848	343	728	0,00337	0,759
4	2212,62	-642,25	-363,1	-910,32	-514,66	1.417	429	744	0,00221	0,659
5	35,01	433,69	816,26	582,43	1096,21	1.343	335	737	0,00361	0,78
6	1288,02	-436,12	-781,48	-561,45	-1006,06	1.287	387	742	0,00276	0,707

Gambar 2. 34 Output SPColumn (2)

7. Desain Transversal

Panjang atau Tinggi Kolom, L = 4000 mm

Sisi Pendek Kolom, b = 600 mm

Sisi Panjang Kolom, h = 600 mm

Diameter Tulangan Longitudinal, $d_b = 36 \text{ mm}$

Diameter Tulangan Sengkang, $d_s = 16 \text{ mm}$

Selimut Bersih, $c_c = 40 \text{ mm}$

Kuat Tekan Beton, $f_c' = 25 \text{ MPa}$

Kuat Leleh Baja Tulangan, $f_y = 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Balok, } h_b &= 750 \text{ mm} \\ L_n &= 3250 \text{ mm} \end{aligned}$$

a) Panjang Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned} l_{o1} &= h = 600 \text{ mm} \\ l_{o2} &= \frac{l_n}{6} = 541,7 \\ l_{o3} &= 450 \text{ mm} \\ l_o &= \text{Max} (l_{o1}; l_{o2}; l_{o3}) \\ &= 600 \end{aligned}$$

b) Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis atau Tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kaki Sisi Pendek, } n_1 &= 4 \\ \text{Jumlah Kaki Sisi Panjang, } n_2 &= 4 \\ \text{Spasi, } s &= 100 \text{ mm} \\ \text{Spasi Kaki Terbesar, } x_i \text{ max} &= 300 \text{ mm} \\ A_{sh \ 1} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 804,248 \text{ mm}^2 \\ A_{sh \ 2} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 804,248 \text{ mm}^2 \\ A_{sh /s, \ 1} &= 8,042 \text{ mm} \\ A_{sh /s, \ 2} &= 8,042 \text{ mm} \end{aligned}$$

c) *Confinement* atau Kekangan Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned} \text{Lebar Penampang Inti Beton, } b_c &= b - 2c_c = 520 \text{ mm} \\ \text{Panjang Penampang Inti Beton, } h_c &= h - 2c_c = 5200 \text{ mm} \\ \text{Luas Penampang Kolom, } A_g &= b \times h = 360000 \text{ mm}^2 \\ \text{Luas Penampang Inti Beton, } A_{ch} &= b_c \times h_c = 270400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sisi Pendek atau Sumbu Lemah

$$\begin{aligned} A_{sh /s, \ \text{min}, \ 1} &= 0.3 (b_c \times f_c' / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\ &= 3,077 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh /s, \ \text{min}, \ 2} &= 0.09 \times b_c \times f_c' / f_y \\ &= 2,786 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat, $A_{sh /s \ 1} = A_{sh /s \ 1} \geq A_{sh /s \ \text{min}}$ (OK)

Sisi Panjang atau Sumbu Kuat

$$A_{sh}/s \text{ min, 1} = 0.3 (bc * fc' / fy) * (Ag / A_{sh} - 1)$$

$$= 3,077 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh}/s \text{ min, 2} = 0.09 * h_c * fc' / fy$$

$$= 2,786 \text{ mm}^2$$

Cek syarat, $A_{sh}/s \geq A_{sh}/s \text{ min}$ (OK)

Cek Spasi

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

$$S_{max,2} = 6 * d_h = 216 \text{ mm}$$

$$h_x = X_{i \text{ max}} = 300 \text{ mm}$$

$$S_{max,3} = S_o = 100 \leq 100 + (350 - h_x) / 3 \leq 150 = 116,667 \text{ mm}$$

$$S_{max} = \text{Min} (S_{max1}, S_{max2}, S_{max3}) = 116,667 \text{ mm}$$

Cek Spasi, (OK)

d) Kuat Geser Zona Sendi Plastis

Gaya Geser Desain

$$M_{pr} \text{ Kolom} = \text{Di ambil nilai terbesar dari pengecekan SCWB}$$

$$= 1845,67 \text{ kN-m}$$

$$V_{u1} = 2 * \frac{M_{pr \text{ kolom}}}{Ln}$$

$$= 1135797 \text{ N}$$

Gaya Geser Hasil Analisis Struktur

$$V_{u2, \text{ Sumbu Lemah}} = 394480 \text{ N}$$

$$V_{u2, \text{ Sumbu Kuat}} = 331434 \text{ N}$$

Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u, \text{ nilai Max dari } V_{u1}, V_{u2} = 1135797 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d$$

$$d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 268264 \text{ N}$$

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

$$= 1246131 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 5,6406 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,4429 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times h}{f_y}$$

$$= 0,5 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_s/s \text{ 1} \geq \max (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$ (OK)

Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u, \text{ nilai Max dari } V_{u1}, V_{u2} = 1135797 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d$$

$$; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 268264 \text{ N}$$

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

$$= 1246131 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 5,6406 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,4429 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min } 2 = \frac{0,35 \times h}{f_y}$$

$$= 0,5 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_s/s \text{ 1} \geq \max (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$ (OK)

e) Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis atau Tumpuan

Jumlah Kaki Sisi Pendek, $n_1 = 4$

Jumlah Kaki Sisi Panjang, $n_2 = 4$

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

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

$$= 402,124 \text{ mm}^2$$

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

$$= 402,124 \text{ mm}^2$$

f) *Confinement* atau Kekangan Luar Zona Sendi Plastis

$$\text{Spasi max 1} = 6 \times d_b$$

$$= 174 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 2} = 150 \text{ mm}$$

$$= 150 \text{ mm}$$

Cek syarat, $\text{Spasi} = \text{Spasi} \leq \text{Spasi Max}$ (OK)

g) Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis

Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u, \text{ nilai Max dari } V_{u1}, V_{u2} = 394480 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d$$

$$; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 268264 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \max \left(\frac{V_u}{\phi - V_c}; 0 \right)$$

$$= 257708 \text{ N}$$

$$A_v/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 1,1665 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,4429 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times h}{f_y}$$

$$= 0,5 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_s/s \text{ 1} \geq \max (A_s/s \text{ Perlu, } A_s/s \text{ Min})$ (OK)

Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u, \text{ nilai Max dari } V_{u1}, V_{u2} = 331434 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d$$

$$; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 268264 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \max \left(\frac{V_u}{\phi - V_c}; 0 \right)$$

$$= 173648 \text{ N}$$

$$A_v/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 0,786 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,4429 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times h}{f_y}$$

$$= 0,5 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_s/s \text{ 1} \geq \max (A_s/s \text{ Perlu, } A_s/s \text{ Min})$ (OK)

8. Kesimpulan

Syarat Gaya dan Geometri (OK)

Kapasitas Lentur (OK)

Kapasitas Geser (OK)

Tulangan Longitudinal menggunakan 20 tulangan D36

Tulangan Transversal atau Sengkang Tumpuan

Sumbu Lemah menggunakan 4 tulangan D16 dengan jarak 100 mm

Sumbu Kuat menggunakan 4 tulangan D16 dengan jarak 100 mm

Tulangan Transversal atau Sengkang Lapangan

Sumbu Lemah menggunakan 2 tulangan D16 dengan jarak 150 mm

Sumbu Kuat menggunakan 2 tulangan D16 dengan jarak 150 mm



2.10.2 Hubungan Balok Induk II Terhadap Kolom

Berikut analisis hubungan antar kolom (600 x 600 mm) dan balok induk I (400 x 600 mm):

1. Data Kolom terhadap Balok Induk I

Panjang atau Tinggi Kolom, L	= 4000 mm
Sisi Pendek Kolom, b	= 600 mm
Sisi Panjang Kolom, h	= 600 mm
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b	= 36 mm
Diameter Tulangan Sengkang, d_s	= 13 mm
Selimut Bersih, c_c	= 40 mm
Kuat Tekan Beton, f_c'	= 25 MPa
Kuat Leleh Baja Tulangan, f_y	= 420 MPa
Tinggi Balok, h_b	= 600 mm
L_n	= $L - h_b$ = 3400 mm

2. Desain Longitudinal

a) Syarat Gaya dan Geometri

Syarat gaya aksial, $P_u > 0,1 A_g f_c'$ (OK)

Syarat Sisi Terpendek, $b \geq 300$ mm(OK)

Syarat Rasio Dimensi Penampang = $b/h \geq 0,4$ (OK)

b) Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan SP Column)

Jumlah Tulangan, n = 20

Luas Tulangan Longitudinal, A_s = $n \times \frac{d_s^2}{s} \times d_b^2$
= 20357,5 mm²

Rasio Tulangan, ρ = $\frac{A_s}{b \times h}$
= 5,65%

Cek ρ_{min} dan ρ_{max} , dengan syarat $1\% \leq \rho \leq 6\%$ (OK)

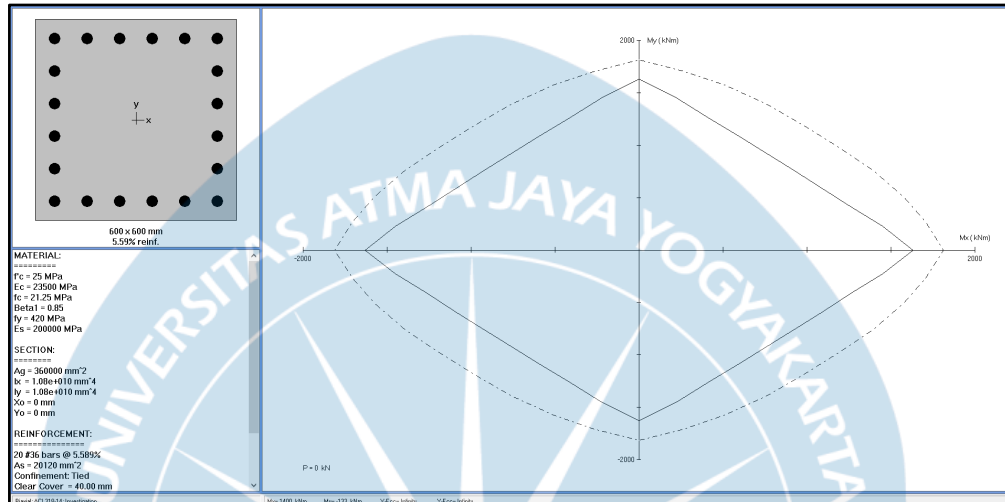
c) Pengecekan *Strong Column - Weak Beam (SCWB)*

Momen Nominal Kolom, M_{nc} = 1845,67 kN-m

M_n^- Tumpuan Balok = 623,368 kN-m

M_n^+ Tumpuan Balok = 516,803 kN-m

Cek syarat, yaitu $2 * M_{nc} \geq 1.2 * (M_n^- + M_n^+)$ (OK)



Gambar 2. 35 Output SPColumn (1)

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities										
No	P_u kN	M_{ux} kNm	M_{uy} kNm	ϕM_{nx} kNm	ϕM_{ny} kNm	$\phi M_u / M_n$	NA Depth mm	d, Depth mm	ϵ_t	ϕ
1	-1418,84	274,58	118,23	1205,26	518,99	4,390	267	712	0,005	0,9
2	2625,78	-539,48	-711,32	-597,2	-787,43	1,107	459	761	0,00198	0,65
3	446,82	605,99	284,38	1119,96	525,58	1,848	343	728	0,00337	0,759
4	2212,62	-642,25	-363,1	-910,32	-514,66	1,417	429	744	0,00221	0,659
5	35,01	433,69	816,26	582,43	1096,21	1,343	335	737	0,00361	0,78
6	1288,02	-436,12	-781,48	-561,45	-1006,06	1,287	387	742	0,00276	0,707

Gambar 2. 36 output SPColumn (2)

3. Desain Transversal

Panjang atau Tinggi Kolom, L = 4000 mm

Sisi Pendek Kolom, b = 600 mm

Sisi Panjang Kolom, h = 600 mm

Diameter Tulangan Longitudinal, d_b = 36 mm

Diameter Tulangan Sengkang, d_s = 13 mm

Selimut Bersih, c_c = 40 mm

Kuat Tekan Beton, f_c' = 25 MPa

Kuat Leleh Baja Tulangan, f_y = 420 MPa

Tinggi Balok, h_b = 600 mm

$$L_n = 3400 \text{ mm}$$

a) Panjang Zona Sendi Plastis

$$l_{o1} = h = 600 \text{ mm}$$

$$l_{o2} = \frac{l_n}{6} = 566,7$$

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

$$l_o = \text{Max} (l_{o1}; l_{o2}; l_{o3}) \\ = 600$$

b) Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis atau Tumpuan

$$\text{Jumlah Kaki Sisi Pendek, } n_1 = 4$$

$$\text{Jumlah Kaki Sisi Panjang, } n_2 = 4$$

$$\text{Spasi, } s = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Kaki Terbesar, } x_{i \text{ max}} = 300 \text{ mm}$$

$$A_{sh \ 1} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \ 2} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh /s, \ 1} = 5,309 \text{ mm}$$

$$A_{sh /s, \ 2} = 5,309 \text{ mm}$$

c) *Confinement* atau Kekangan Zona Sendi Plastis

$$\text{Lebar Penampang Inti Beton, } b_c = b - 2c_c = 520 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang Penampang Inti Beton, } h_c = h - 2c_c = 520 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Penampang Kolom, } A_g = b \times h = 360000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas Penampang Inti Beton, } A_{ch} = b_c \times h_c = 270400 \text{ mm}^2$$

Sisi Pendek atau Sumbu Lemah

$$A_{sh /s, \ \text{min}, \ 1} = 0.3 (b_c \times f_c' / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\ = 3,077 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh /s, \ \text{min}, \ 2} = 0.09 \times b_c \times f_c' / f_y \\ = 2,786 \text{ mm}$$

$$\text{Cek syarat, } A_{sh /s \ 1} = A_{sh /s \ 1} \geq A_{sh /s \ \text{min}} \text{ (OK)}$$

Sisi Panjang atau Sumbu Kuat

$$A_{sh /s \ \text{min}, \ 1} = 0.3 (b_c \times f_c' / f_y) \times (A_g / A_{sh} - 1)$$

$$= 3,077 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh/s \text{ min}, 2} = 0.09 * h_c * f_c' / f_y$$

$$= 2,786 \text{ mm}^2$$

Cek syarat, $A_{sh/s 2} \geq A_{sh/s \text{ min}}$ (OK)

Cek Spasi

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

$$S_{max,2} = 6 \times d_h = 216 \text{ mm}$$

$$h_x = X_{i \text{ max}} = 300 \text{ mm}$$

$$S_{max,3} = s_o = 100 \leq 100 + (350 - h_x) / 3 \leq 150 = 116,667 \text{ mm}$$

$$S_{max} = \text{Min} (S_{max1}, S_{max2}, S_{max3}) = 116,667 \text{ mm}$$

Cek Spasi, (OK)

d) Kuat Geser Zona Sendi Plastis

Gaya Geser Desain

$$M_{pr \text{ Kolom}} = \text{Di ambil nilai terbesar dari pengecekan SCWB}$$

$$= 1845,67 \text{ kN-m}$$

$$V_{u1} = 2 \times \frac{M_{pr \text{ kolom}}}{L_n}$$

$$= 1085688 \text{ N}$$

Gaya Geser Hasil Analisis Struktur

$$V_{u2, \text{ Sumbu Lemah}} = 394480 \text{ N}$$

$$V_{u2, \text{ Sumbu Kuat}} = 331434 \text{ N}$$

Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u, \text{ nilai Max dari } V_{u1}, V_{u2} = 1085688 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d$$

$$; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 269795 \text{ N}$$

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

$$= 1177790 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 5,30116 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,4429 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times h}{f_y}$$

$$= 0,5 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_s/s \text{ 1} \geq \max (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$ (OK)

Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u, \text{ nilai Max dari } V_{u1}, V_{u2} = 1085688 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d$$

$$; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 269795 \text{ N}$$

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

$$= 1177790 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 5,3011 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,4429 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times h}{f_y}$$

$$= 0,5 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_s/s \geq \max(A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$ (OK)

e) Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis atau Tumpuan

Jumlah Kaki Sisi Pendek, $n_1 = 4$

Jumlah Kaki Sisi Panjang, $n_2 = 4$

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

$$\begin{aligned} A_v \text{ Sumbu Lemah} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 402,124 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v \text{ Sumbu Kuat} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 402,124 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

f) *Confinement* atau Kekangan Luar Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned} \text{Spasi max 1} &= 6 \times d_b \\ &= 174 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi max 2} &= 150 \text{ mm} \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat, Spasi = Spasi \leq Spasi Max(OK)

g) Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis

Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u, \text{ nilai Max dari } V_{u1}, V_{u2} = 394480 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d$$

$$; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 269795 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \max \left(\frac{V_u}{\phi - V_c}; 0 \right)$$

$$= 256178 \text{ N}$$

$$A_v/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 1,1530 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,4429 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times h}{f_y}$$

$$= 0,5 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_s/s \text{ 1} \geq \max (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$ (OK)

Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u, \text{ nilai Max dari } V_{u1}, V_{u2} = 331434 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d$$

$$; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 269795 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \max \left(\frac{V_u}{\phi - V_c}; 0 \right)$$

$$= 172118 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$$

$$= 0,7747 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} \times \frac{h}{f_y}$$

$$= 0,4429 \text{ mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = \frac{0,35 \times h}{f_y}$$

$$= 0,5 \text{ mm}$$

Cek syarat, $A_s/s \text{ 1} \geq \max (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$ (OK)

4. Kesimpulan

Syarat Gaya dan Geometri (OK)

Kapasitas Lentur (OK)

Kapasitas Geser (OK)

Tulangan Longitudinal menggunakan 20 tulangan D36

Tulangan Transversal atau Sengkang Tumpuan

Sumbu Lemah menggunakan 4 tulangan D13 dengan jarak 100 mm

Sumbu Kuat menggunakan 4 tulangan D13 dengan jarak 100 mm

Tulangan Transversal atau Sengkang Lapangan

Sumbu Lemah menggunakan 2 tulangan D13 dengan jarak 150 mm

Sumbu Kuat menggunakan 2 tulangan D13 dengan jarak 150 mm

2.11 Perancangan Pelat Lantai

Desain pelat lantai dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Pada sub-bab ini disajikan prosedur perhitungan dan desain pelat lantai tipe II dengan tebal 120 mm serta dibagi dalam 3 jenis.

2.11.1 Desain Pelat Lantai A

1. Dimensi Tiap Balok

Balok Induk I :

Dimensi Balok = 400 x 750 mm

Balok Induk II :

Dimensi Balok = 400 x 600 mm

Balok Anak :

Dimensi Balok = 250 x 500 mm

2. Tebal minimum pelat :

Tebal Pelat = 120 mm

Tebal Selimut = 30 mm

Mutu beton kolom dan balok (f_{cb}') = 24,000 MPa

Mutu beton pelat (f_{cs}') = 24,000 MPa

Mutu baja tulangan (F_y) = 420,000 MPa

Modulus Elastisitas Beton (E_{cb}) = 23025,204 MPa

Modulus Elastisitas Pelat (Ecs) = 23025,204 MPa
 Koefisien Fy = 0,85
 Diameter Tulangan Lentur = 10 mm
 Diameter Tulangan Susut = 8 mm

3. Beban Pelat Mati (*DL*) Lantai :

Berat sendiri pelat lantai = 2,88 kN/m
 Berat Finishing Lantai = 1,05 kN/m
 Berat Plafond = 0,35 kN/m
Berat Instalasi ME = 0,5 kN/m
 Total Beban Mati Pelat Lantai A = 4,78 kN/m

Tabel 2. 17 Momen Pelat Lantai

Tipe Plat	Kondisi Tumpuan		Arah	Koefisien	Beban	Mu	
A	Ly	6400	Mlx	61	4,78	11,943	kN/m
	Lx	3350	Mtx	61		-11,943	kN/m
	ht	0	Mly	35		1,878	kN/m
	Ly / Lx	1,9	Mty	35		-1,878	kN/m

4. Perhitungan penulangan diambil contoh perhitungan pelat A:

Tulangan Lentur arah X

$$\begin{aligned}
 M_{nx} &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{11,943 \times 10^6}{0,9} \\
 &= 13270129,778 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_{nx}}{b \times d^2} \\
 &= \frac{13270129,778}{1000 \times 85^2} \\
 &= 1,8367
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{rc}} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 24} \\
 &= 20,5882
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 1,8367}{420} \right)} \right) \\
 &= 0,00458996
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ min.} = 0,0014$$

$$\rho \text{ pakai} = 0,002$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d_x \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 85 \\
 &= 170 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ maks.} &= 3 \times 120 \\
 &= 360 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1000}{s \text{ pakai}} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{tul}^2 \right) \\
 &= \frac{1000}{300} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \right) \\
 &= 261,794 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D10 spasi 300 mm.

Tulangan Lentur arah Y

$$\begin{aligned}
 M_{ny} &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{-11,943 \times 10^6}{0,9} \\
 &= 2086138,056 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_{ny}}{b \times d^2} \\
 &= \frac{2086138,056}{1000 \times 85^2} \\
 &= 0,3708
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{rc}} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 24} \\
 &= 20,5882
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 0,3708}{420} \right)} \right) \\
 &= 0,000891
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ min.} = 0,0014$$

$$\rho \text{ pakai} = 0,002$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d_y \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 75 \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ maks.} &= 3 \times 120 \\
 &= 360 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1000}{s \text{ pakai}} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{tul}^2 \right) \\
 &= \frac{1000}{300} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \right) \\
 &= 261,794 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D10 spasi 300 mm.

Tulangan Susut Arah X

$$\begin{aligned}
 M_{nx} &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{11,943 \times 10^6}{0,9} \\
 &= 13270129,778 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_{nx}}{b \times d^2} \\
 &= \frac{13270129,778}{1000 \times 86^2} \\
 &= 1,7942306
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{rc}} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 24} \\
 &= 20,5882
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 1,7942306}{420} \right)} \right) \\
 &= 0,004478441
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ min.} = 0,0014$$

$$\rho \text{ pakai} = 0,002$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times dx \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 86 \\
 &= 172 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{S maks.} &= 3 \times 120 \\
 &= 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{S pakai} = 400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1000}{s \text{ pakai}} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{tul}^2 \right) \\
 &= \frac{1000}{400} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \right) \\
 &= 196,3495408 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D8 spasi 400 mm.

Tulangan Susut Arah y

$$\begin{aligned}
 M_{ny} &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{11,943 \times 10^6}{0,9} \\
 &= 2086138,056 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_{ny}}{b \times d^2} \\
 &= \frac{2086138,056}{1000 \times 86^2} \\
 &= 0,342889227
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{rc}} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 24} \\
 &= 20,5882
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 0,342889227}{420} \right)} \right) \\
 &= 0,000823382
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ min.} = 0,0014$$

$$\rho \text{ pakai} = 0,002$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d_y \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 78 \\
 &= 156 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ maks.} &= 3 \times 120 \\
 &= 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 350 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1000}{s \text{ pakai}} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{tul}^2 \right) \\
 &= \frac{1000}{350} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \right) \\
 &= 224,3994753 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D8 spasi 350 mm.

2.11.2 Desain Pelat Lantai B

1. Dimensi Tiap Balok

Balok Induk I :

$$\text{Dimensi Balok} = 400 \times 750 \text{ mm}$$

Balok Induk II :

$$\text{Dimensi Balok} = 400 \times 600 \text{ mm}$$

Balok Anak :

$$\text{Dimensi Balok} = 250 \times 500 \text{ mm}$$

1. Tebal minimum pelat :

Tebal Pelat	= 120 mm
Tebal Selimut	= 30 mm
Mutu beton kolom dan balok (f_{cb}')	= 24,000 MPa
Mutu beton pelat (f_{cs}')	= 24,000 MPa
Mutu baja tulangan (F_y)	= 420,000 MPa
Modulus Elastisitas Beton (E_{cb})	= 23025,204 MPa
Modulus Elastisitas Pelat (E_{cs})	= 23025,204 MPa
Koefisien F_y	= 0,85
Diameter Tulangan Lentur	= 10 mm
Diameter Tulangan Susut	= 8 mm

2. Beban Pelat Mati (DL) Lantai :

Berat sendiri pelat lantai	= 2,88 kN/m
Berat Finishing Lantai	= 1,05 kN/m
Berat Plafond	= 0,35 kN/m
Berat Instalasi ME	= 0,5 kN/m
Total Beban Mati Pelat Lantai B	= 4,78 kN/m

Tabel 2. 18 Momen Pelat Lantai

Tipe Plat	Kondisi Tumpuan		Arah	Koefisien	Beban	Mu	
B	Ly	4450	Mlx	50	4,78	2,682	kN/m
	Lx	3350	Mtx	50		-2,682	kN/m
	ht	0	Mly	38		3,597	kN/m
	Ly / Lx	1,3	Mty	38		-3,597	kN/m

3. Perhitungan penulangan diambil contoh perhitungan pelat B:

Tulangan Lentur arah X

$$M_{nx} = \frac{Mu}{\phi}$$

$$= \frac{2,682 \times 10^6}{0,9} = 2980197,222 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n x}{b x d^2} = \frac{2980197,222}{1000 \times 85^2} = 0,4124840$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{rc}} = \frac{420}{0,85 \times 24} = 20,5882$$

$$\rho = \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right) = \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 0,4124840}{420} \right)} \right) = 0,00099224$$

$$\rho_{\text{min.}} = 0,0014$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,002$$

$$\text{As perlu} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times dx = 0,002 \times 1000 \times 85 = 170 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks.}} = 3 \times 120 = 360 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{As terpasang} = \frac{1000}{s_{\text{pakai}}} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{\text{tul}}^2 \right) = \frac{1000}{300} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \right) = 261,794 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D10 spasi 300 mm.

Tulangan Lentur arah Y

$$M_{ny} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{-2,682 \times 10^6}{0,9}$$

$$= 3996584,556 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mny}{bxd^2} \\ &= \frac{3996584,556}{1000 \times 85^2} \\ &= 0,710503921 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{0,85 \times frc} \\ &= \frac{420}{0,85 \times 24} \\ &= 20,5882 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times Rn}{fy} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 0,710503921}{420} \right)} \right) \\ &= 0,001722208 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ min.} = 0,0014$$

$$\rho \text{ pakai} = 0,002$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times dy \\ &= 0,002 \times 1000 \times 75 \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ maks.} &= 3 \times 120 \\ &= 360 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{As terpasang} &= \frac{1000}{s \text{ pakai}} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{tul}^2 \right) \\ &= \frac{1000}{300} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \right) \\ &= 261,794 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D10 spasi 300 mm.

Tulangan Susut Arah X

$$Mnx = \frac{Mu}{\phi}$$

$$= \frac{3,597 \times 10^6}{0,9}$$

$$= 2980197,222 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mnx}{bxd^2}$$

$$= \frac{2980197,222}{1000 \times 86^2}$$

$$= 0,4029472$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{r_c}}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 24}$$

$$= 20,5882$$

$$\rho = \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 0,4029472}{420} \right)} \right)$$

$$= 0,000969065$$

$$\rho \text{ min.} = 0,0014$$

$$\rho \text{ pakai} = 0,002$$

$$\text{As perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times dx$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 86$$

$$= 172 \text{ mm}$$

$$S \text{ maks.} = 3 \times 120$$

$$= 600 \text{ mm}$$

$$S \text{ pakai} = 400 \text{ mm}$$

$$\text{As terpasang} = \frac{1000}{s \text{ pakai}} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{\text{tul}}^2 \right)$$

$$= \frac{1000}{400} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \right)$$

$$= 196,3495408 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D8 spasi 400 mm.

Tulangan Susut Arah y

$$M_{ny} = \frac{Mu}{\phi}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{-3,597 \times 10^6}{0,9} \\
&= 3996584,556 \text{ Nmm} \\
R_n &= \frac{M_{ny}}{b \times d^2} \\
&= \frac{3996584,556}{1000 \times 78^2} \\
&= 0,656900815 \\
m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{rc}} \\
&= \frac{420}{0,85 \times 24} \\
&= 20,5882 \\
\rho &= \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right) \\
&= \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 0,656900815}{420} \right)} \right) \\
&= 0,001590077 \\
\rho \text{ min.} &= 0,0014 \\
\rho \text{ pakai} &= 0,002 \\
As \text{ perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d_y \\
&= 0,002 \times 1000 \times 78 \\
&= 156 \text{ mm} \\
S \text{ maks.} &= 3 \times 120 \\
&= 600 \text{ mm} \\
S \text{ pakai} &= 350 \text{ mm} \\
As \text{ terpasang} &= \frac{1000}{s \text{ pakai}} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{tul}^2 \right) \\
&= \frac{1000}{350} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \right) \\
&= 224,3994753 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D8 spasi 350 mm.

2.11.3 Desain Pelat Lantai C

1. Dimensi Tiap Balok

Balok Induk I :

Dimensi Balok = 400 x 750 mm

Balok Induk II :

Dimensi Balok = 400 x 600 mm

Balok Anak :

Dimensi Balok = 250 x 500 mm

2. Tebal minimum pelat :

Tebal Pelat = 120 mm

Tebal Selimut = 30 mm

Mutu beton kolom dan balok (f_{cb}') = 24,000 MPa

Mutu beton pelat (f_{cs}') = 24,000 MPa

Mutu baja tulangan (F_y) = 420,000 MPa

Modulus Elastisitas Beton (E_{cb}) = 23025,204 MPa

Modulus Elastisitas Pelat (E_{cs}) = 23025,204 MPa

Koefisien F_y = 0,85

Diameter Tulangan Lentur = 10 mm

Diameter Tulangan Susut = 8 mm

3. Beban Pelat Mati (DL)Lantai :

Berat sendiri pelat lantai = 2,88 kN/m

Berat Finishing Lantai = 1,05 kN/m

Berat Plafond = 0,35 kN/m

Berat Instalasi ME = 0,5 kN/m

Total Beban Mati Pelat Lantai C = 4,78 kN/m

Tabel 2. 19 Momen Pelat Lantai

Tipe Plat	Kondisi Tumpuan		Arah	Koefisien	Beban	Mu	
C	Ly	3350	Mlx	50	4,78	1,49375	kN/m
	Lx	2500	Mtx	50		-1,49375	kN/m
	ht	0	Mly	38		2,0385	kN/m
	Ly / Lx	1,3	Mty	38		-2,0385	kN/m

4. Perhitungan penulangan diambil contoh perhitungan pelat C:

Tulangan Lentur arah X

$$\begin{aligned}
 M_{nx} &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{1,49375 \times 10^6}{0,9} \\
 &= 1659722,222 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_{nx}}{b \times d^2} \\
 &= \frac{1659722,222}{1000 \times 85^2} \\
 &= 0,2297193
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_{rc}} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 24} \\
 &= 20,5882
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 0,4124840}{420} \right)} \right) \\
 &= 0,000550066
 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ min.} = 0,0014$$

$$\rho \text{ pakai} = 0,002$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d_x \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 85 \\
 &= 170 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S \text{ maks.} = 3 \times 120$$

$$= 360 \text{ mm}$$

$$S \text{ pakai} = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{As terpasang} &= \frac{1000}{s \text{ pakai}} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{\text{tul}}^2 \right) \\ &= \frac{1000}{300} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \right) \\ &= 261,794 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D10 spasi 300 mm.

Tulangan Lentur arah Y

$$\begin{aligned} M_{ny} &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{-1,49375 \times 10^6}{0,9} \\ &= 2264949,889 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_{ny}}{b \times d^2} \\ &= \frac{2264949,889}{1000 \times 75^2} \\ &= 0,402657758 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_r c} \\ &= \frac{420}{0,85 \times 24} \\ &= 20,5882 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 0,402657758}{420} \right)} \right) \\ &= 0,000968362 \end{aligned}$$

$$\rho \text{ min.} = 0,0014$$

$$\rho \text{ pakai} = 0,002$$

$$\text{As perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d_y$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 75$$

$$= 150 \text{ mm}$$

S maks. = 3 x 120

$$= 360 \text{ mm}$$

S pakai = 300 mm

As terpasang = $\frac{1000}{s_{pakai}} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{tul}^2\right)$

$$= \frac{1000}{300} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2\right)$$

$$= 261,794 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D10 spasi 300 mm.

Tulangan Susut Arah X

Mnx = $\frac{Mu}{\phi}$

$$= \frac{2,0385 \times 10^6}{0,9}$$

$$= 1659722,222 \text{ Nmm}$$

Rn = $\frac{Mnx}{b \times d^2}$

$$= \frac{1659722,222}{1000 \times 86^2}$$

$$= 0,2244081$$

m = $\frac{fy}{0,85 \times frc}$

$$= \frac{420}{0,85 \times 24}$$

$$= 20,5882$$

$\rho = \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times Rn}{fy}\right)}\right)$

$$= \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 0,2244081}{420}\right)}\right)$$

$$= 0,000537277$$

ρ min. = 0,0014

ρ pakai = 0,002

As perlu = ρ pakai x b x dx

$$= 0,002 \times 1000 \times 86$$

$$= 172 \text{ mm}$$

S maks. = 3 x 120

$$= 600 \text{ mm}$$

S pakai = 400 mm

As terpasang = $\frac{1000}{s_{pakai}} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{tul}^2 \right)$

$$= \frac{1000}{400} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \right)$$

$$= 196,3495408 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D8 spasi 400 mm.

Tulangan Susut Arah y

Mny = $\frac{Mu}{\phi}$

$$= \frac{-2,0385 \times 10^6}{0,9}$$

$$= 2264949,889 \text{ Nmm}$$

Rn = $\frac{Mny}{b \times d^2}$

$$= \frac{2264949,889}{1000 \times 78^2}$$

$$= 0,372279732$$

m = $\frac{fy}{0,85 \times frc}$

$$= \frac{420}{0,85 \times 24}$$

$$= 20,5882$$

$\rho = \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times Rn}{fy} \right)} \right)$

$$= \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 0,372279732}{420} \right)} \right)$$

$$= 0,000894619$$

ρ min. = 0,0014

ρ pakai = 0,002

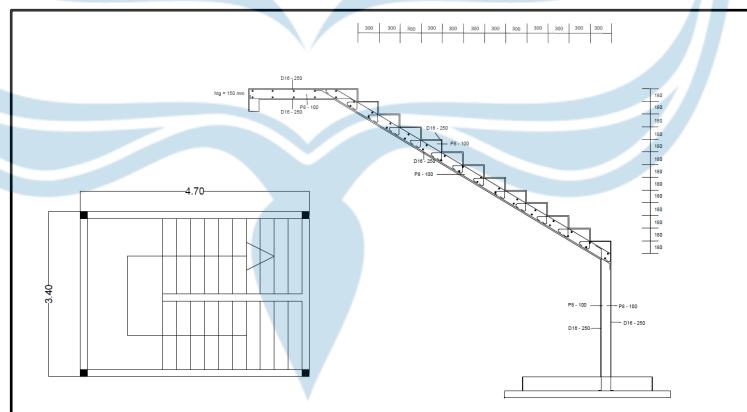
As perlu = ρ pakai x b x dy

$$\begin{aligned}
 &= 0,002 \times 1000 \times 78 \\
 &= 156 \text{ mm} \\
 S \text{ maks.} &= 3 \times 120 \\
 &= 600 \text{ mm} \\
 S \text{ pakai} &= 350 \text{ mm} \\
 \text{As terpasang} &= \frac{1000}{s_{pakai}} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d_{tul}^2 \right) \\
 &= \frac{1000}{350} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \right) \\
 &= 224,3994753 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D8 spasi 350 mm.

2.12 Perencanaan Tangga

Tangga merupakan bagian struktur yang memiliki peranan penting sebagai penghubung struktur bawah dan atas untuk memepermudah perpindahan atau mobilisasi pengguna gedung. Pada sub-bab ini disajikan prosedur perhitungan dan desain untuk Pondok Pesantren Assalafiyah.



Gambar 2. 37 Perencanaan Tangga Pondok Pesantren Assalafiyah

1. Data Tangga :

Jarak antar lantai	= 4000 mm
Lebar tangga (L1)	= 3033,3 mm
Lebar bordes	= 1700 mm
Tinggi oprtrade (O)	= 180 mm
Jumlah anak tangga (n)	= 22 buah

Lebar antrede (A)	= 300 mm
Sudut kemiringan (α)	= 30,96°
Tebal pelat tangga	= 130 mm

2. Rencana Beban Tangga :

Berat Volume Beton = 24 kN/m

Berat Volume Ubin = 21 kN/m

a) Beban Hidup (q_{LL})

Berat beban hidup tangga = 4,79 kN/m²

b) Beban mati tangga (q_{tg})

Berat sendiri tangga = $\frac{0,13}{\cos 30,96} \times 24 = 3,64 \text{ kN/m}^2$

Berat anak tangga = $\frac{1}{2} \times 0,18 \times 24 = 2,16 \text{ kN/m}^2$

Berat ubin dan spesi = $0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$

Berat railing (diperkirakan) = 1 = 1,00 kN/m²

Total beban q_{tg} = 7,85 kN/m²

c) Berat mati bordes (q_{bg})

Berat sendiri tangga = $\frac{0,13}{1000} \times 24 = 3,12 \text{ kN/m}^2$

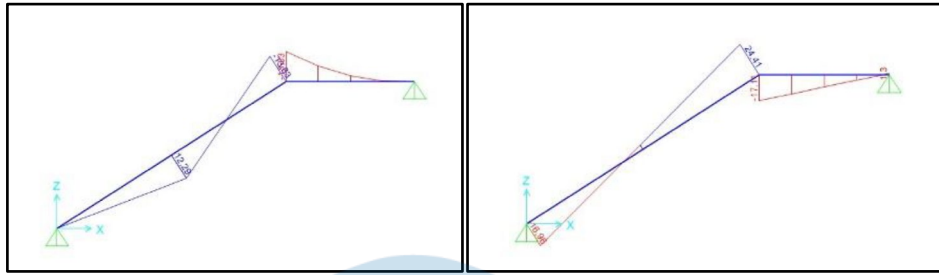
Berat ubin dan spesi = $0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$

Berat railing (diperkirakan) = 1 = 1,00 kN/m²

Total beban q_{bg} = 5,17 kN/m²

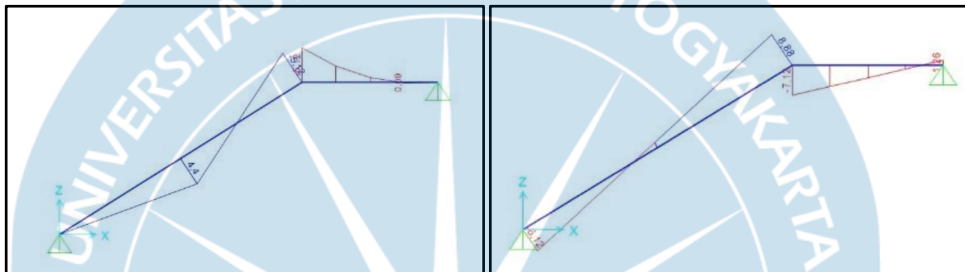
Dari beban hidup, beban mati tangga, dan beban bordes kemudian di modelkan dalam SAP2000 dan didapatkan gaya-gaya sebagai berikut :

d) Akibat *Dead Load*



Gambar 2. 38 Pemodelan dari SAP2000 akibat *Dead Load*

e) Akibat *Live Load*



Gambar 2. 39 Pemodelan dari SAP2000 akibat *Live Load*

3. Rencana Pembebanan Tangga

Momen akibat *Dead Load* (DL) = 12,29 kNm

Momen akibat *Live Load* (LL) = 4,4 kNm

$M_u = 1,4 M_{DL} = 1,4 \times 12,29 = 17,206 \text{ kNm}$

$M_u = 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL} = 1,2 \times 12,29 + 1,6 \times 4,4 = 21,788 \text{ kNm}$

Dipakai $M_{UR} = 21,788 \text{ kNm}$

Geser akibat *Dead Load* (DL) = 24,41 kN

Geser akibat *Live Load* (LL) = 8,88 kN

$V_u = 1,4 V_{DL} = 1,4 \times 24,41 = 34,174 \text{ kN}$

$V_u = 1,2 V_{DL} + 1,6 V_{LL} = 1,2 \times 24,41 + 1,6 \times 8,88 = 43,5 \text{ kN}$

Dipakai $V_{UR} = 43,3 \text{ kN}$

4. Rencana Penulangan Tangga

$$\text{Mutu Beton (f'c)} = 24 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Tulangan Tangga (fy)} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Selimut beton (Sb)} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Pelat (h)} = 130 \text{ mm}$$

$$\text{Koefisien fy} = 0,8$$

$$\text{Diameter tulangan pokok, D} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan susut, P} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{As tulangan pokok} = 1/4 \times \pi \times 16^2 = 201,068 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan susut} = 1/4 \times \pi \times 8^2 = 50,26 \text{ mm}^2$$

a) Tulangan Lentur, Tulangan Pokok

$$\begin{aligned} \text{Lebar bersih, (d)} &= h - S_b - 0,5D_{\text{tul}} \\ &= 130 - 20 - (0,5 \times 16) \\ &= 102,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{1,788 \times 10^6}{0,8} \\ &= 27235000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{27235000}{1000 \times 102,0^2} \\ &= 2,61774 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{0,85 \times f'c} \\ &= \frac{420}{0,85 \times 24} \\ &= 20,5882 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{1m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times R_n}{fy} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{20,5882} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 20,5882 \times 2,61774}{420} \right)} \right) \\ &= 0,006693997 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ min.} &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,00333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ max} &= 0,75 \times \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \times \beta \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 24}{420} \times 0,85 \times \frac{600}{600+420} \\ &= 0,018214286\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As pakai} &= \rho \times \text{htg} \times d \\ &= 0,00669399 \times 130 \times 102 \\ &= 1479,3734 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As min, As Perlu} &= 25/100 \times b \times d \\ &= 25\% \times 1700 \times 102 \\ &= 433,5000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= (A_s \times b) / A_s \\ &= (201,06193 \times 1000) / 1479,3734 \\ &= 135,9102 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Jarak yang dipakai} = 250 \text{ mm}$$

Sehingga dipasangan tulangan dengan D16 spasi 250 mm.

Cek Geser

$$\begin{aligned}V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 1000 \times 102 \\ &= 83,283 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\emptyset V_c &= 0,75 \times 83,283 \\ &= 62,462 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\emptyset V_c > V_u = 83,283 > 62,462 \text{ (OK)}$$

b) Tulangan Susut

$$\begin{aligned}\text{Lebar bersih, (d)} &= h - S_b - 0,5D_{\text{tul}} \\ &= 130 - 20 - (0,5 \times 8) \\ &= 106,0 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Mn} = \frac{Mu}{\emptyset}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,788 \times 10^6}{0,8} \\
 &= 27235000 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{27235000}{1000 \times 106,0^2} \\
 &= 2,42391 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 24} \\
 &= 20,5882
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{min.}} &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,00333
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= 0,75 \times \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \times \beta \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 24}{420} \times 0,85 \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,018214286
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min, As Perlu} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d \\
 &= 0,00333 \times 1700 \times 106 \\
 &= 433,33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pakai} &= \rho \times \text{htg} \times d \\
 &= 0,00669399 \times 130 \times 106 \\
 &= 1361,8205 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b \times 0,25 \times \pi \times d^2}{\text{As min}} \\
 &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 8^2}{433,33} \\
 &= 115,9973 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jarak yang dipakai} = 100 \text{ mm}$$

Sehingga, dipasangan tulangan P8 dengan jarak 100 mm.