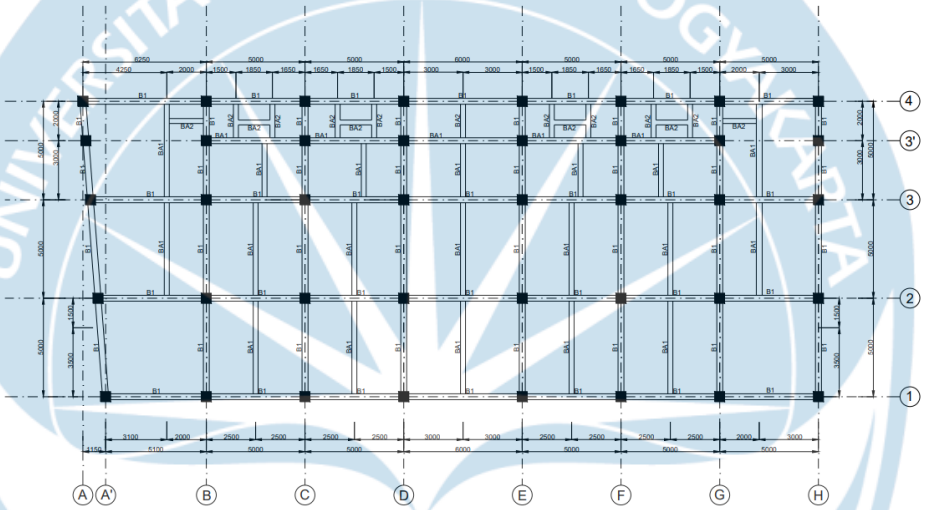
BAB II
PERENCANAAN STRUKTUR ATAS

2.1. Gambaran Umum Struktur

Rumah toko merupakan bangunan yang digunakan sebagai tempat tinggal dan juga sebagai tempat pertokoan. Perancangan rumah toko berlokasi di Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki ukuran 37,25 m x 16 m. Ruko ini memiliki empat lantai dan tinggi per lantai 4 m. Ilustrasi denah bangunan ruko dapat di lihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Gambaran Umum Struktur Ruko

2.2. Penentuan Kelas Situs

Penentuan kelas situs berdasarkan SNI 1726:2019 mengevaluasi profil tanah hingga kedalaman 30 meter menggunakan nilai SPT atau kecepatan gelombang geser (Vs) untuk mengklasifikasikannya ke dalam lima kategori: SA (batuan sangat keras), SB (batuan keras), SC (tanah sedang), SD (tanah lunak), dan SE (tanah sangat lunak/lempung organik). Klasifikasi ini menentukan parameter seismik kritis seperti percepatan spektral dan gaya geser dasar, yang memengaruhi desain struktur tahan gempa. Kesalahan dalam penentuan kelas situs dapat menyebabkan ketidakakuratan perhitungan beban gempa, berisiko mengkompromikan keamanan bangunan. berdasarkan data yang diperoleh adalah tanah dengan klasifikasi SE.

2.3. Penentuan Sistem Struktur

Penentuan sistem struktur merupakan salah satu tahapan penting dalam perencanaan bangunan gedung, khususnya pada bangunan ruko yang dirancang untuk memenuhi aspek keamanan, kekuatan, dan kenyamanan. Sistem struktur yang digunakan harus mampu menahan berbagai beban yang bekerja pada bangunan, baik beban gravitasi maupun beban lateral akibat gempa. Oleh karena itu, perencanaan struktur harus mengacu pada ketentuan dan standar yang berlaku, seperti SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

2.3.1. Kategori Resiko

Dalam SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, faktor risiko ditentukan berdasarkan tingkat konsekuensi kegagalan bangunan terhadap keselamatan manusia, ekonomi, dan fungsi sosial. Faktor ini dikategorikan ke dalam empat tingkat risiko (I, II, III, dan IV) dapat di lihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3. Faktor risiko ini berpengaruh pada perhitungan kekuatan gempa seperti pada Tabel 1.1. Perhitungan kekuatan gempa yang harus diperhitungkan dalam desain struktur agar memenuhi standar keamanan dan ketahanan yang optimal.

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

Gambar 2. 2 Tingkat Resiko

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - 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, tsunami, 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 Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Gambar 2. 3 Tingkat Resiko

Tabel 2. 1 Kekuatan Gempa Berdasarkan Resiko

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,5
III	1,25
IV	1,50

Berdasarkan tabel, rumah susun masuk kedalam kategori (II) dan faktor keutamaan gempa 1.

2.3.2. Menentukan Kelas Situs

Menentukan kelas situs dapat di lihat melalui tabel yang mengacu pada SNI 1721:2019 dapat di lihat pada Gambar 2.4.

Kelas situs	$\overline{v}_s$ (m/detik)	$\overline{N}$ atau $\overline{N}_{ch}$	$\overline{s}_u$ (kPa)
A (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
B (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
C (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
D *(tanah sedang)*	175 sampai 350	15 sampai 50	*50 sampai100*
E *(tanah lunak)*	< 175	<15	*< 50*
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\overline{s}_u < 25$ kPa		
F (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan H > 3 m)		

Gambar 2. 4 Kelas Situs

2.3.3. Menentukan Respon Spektrum

Data respon spektrum yang mengacu pada SNI 1721:2019, yang berdasarkan lokasi tempat konstruksi sedang berjalan atau di rencanakan. Data dapat di dapatkan melalui laman *website* Desain Spektra Indonesia. Dari laman tersebut diperoleh data sebagai berikut:

1. S_S = 1,1070 g
2. S_1 = 0,5070 g
3. F_a = 1,014 g
4. F_v = 2,186 g
5. S_{MS} = 1,123 g
6. S_{M1} = 1,108 g
7. SD_S = 0,749 g
8. SD_1 = 0,739 g
9. T_0 = 0,197 s
10. T_S = 0,987 g
11. TL = 6 s

2.3.4. Periode Fudamental Bangunan

Periode Fundamental Bangunan dapat diperoleh melalui tabel yang mengacu pada SNI 1726:2019, berdasarkan lokasi di mana konstruksi sedang berlangsung atau direncanakan, dengan mempertimbangkan nilai SDS serta kategori risiko bangunan yang dikategorikan ke dalam empat tingkat risiko (I, II, III, dan IV) dan kelas A, B, C dan D seperti pada Table 2.2.

Tabel 2. 2 Periode Fudamental Bangunan

Nilai SDS	**Kategori Risiko**	
	I atau II atau III	IV
$SD_S < 0{,}167$	A	A
$0{,}167 \leq SD_S < 0{,}33$	B	C
$0{,}33 \leq SD_S < 0{,}50$	C	D
$0{,}50 \leq SD_S$	D	D

2.3.5. Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik ditentukan berdasarkan tabel yang mengacu pada SNI 1726:2019 seperti pada Tabel 2.3, yang ditetapkan sesuai dengan tipe dan jenis struktur bangunan yang digunakan dalam perencanaan konstruksi.

Tabel 2. 3 Kategori Desain Seismik

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

2.3.6. Koefisien Modifikasi Respon

Dalam perencanaan struktur tahan gempa sesuai SNI 1726:2019, nilai Faktor Reduksi Gempa (R), Faktor Lebih Daya (Ω_0), dan Faktor Pergeseran (C_d) ditentukan berdasarkan jenis sistem struktur yang digunakan. Faktor R mencerminkan kapasitas struktur dalam mendisipasi energi gempa dengan mengurangi gaya gempa yang harus ditahan, sedangkan Ω_0 digunakan untuk menghitung beban lebih daya pada elemen-elemen kritis yang harus memiliki

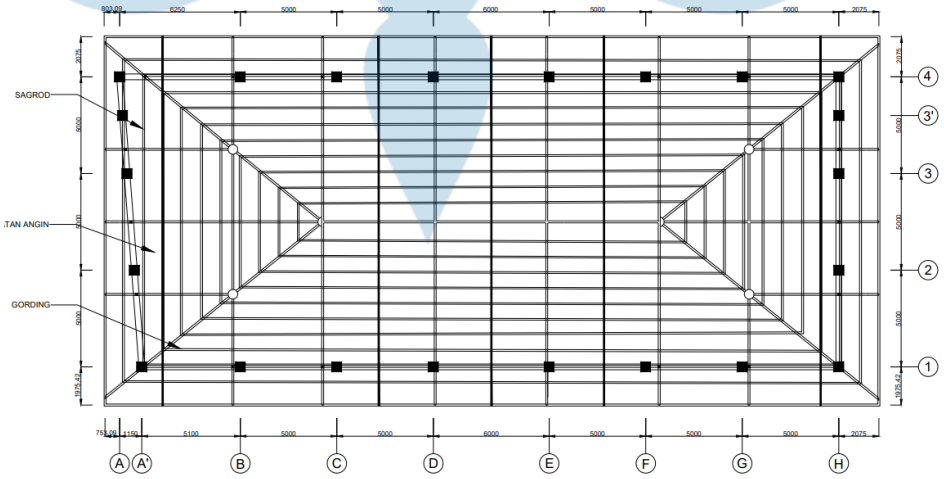
kekuatan tambahan di atas beban nominal. Sementara itu, C_d berperan dalam memperkirakan simpangan inelastis struktur selama gempa, yang penting untuk memastikan deformasi struktur tetap dalam batas aman. Ketiga faktor ini memiliki nilai berbeda sesuai sistem struktur, dan bersama-sama mempengaruhi respons dinamik serta desain keseluruhan struktur agar memenuhi standar keamanan gempa yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019 seperti pada Gambar 2.5.

C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10[k]	TI[k]	TI[k]
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI[l]	TI[l]	TI[l]
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus[m]	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan[n]	3½	3[o]	3½	10	10	10	10	10

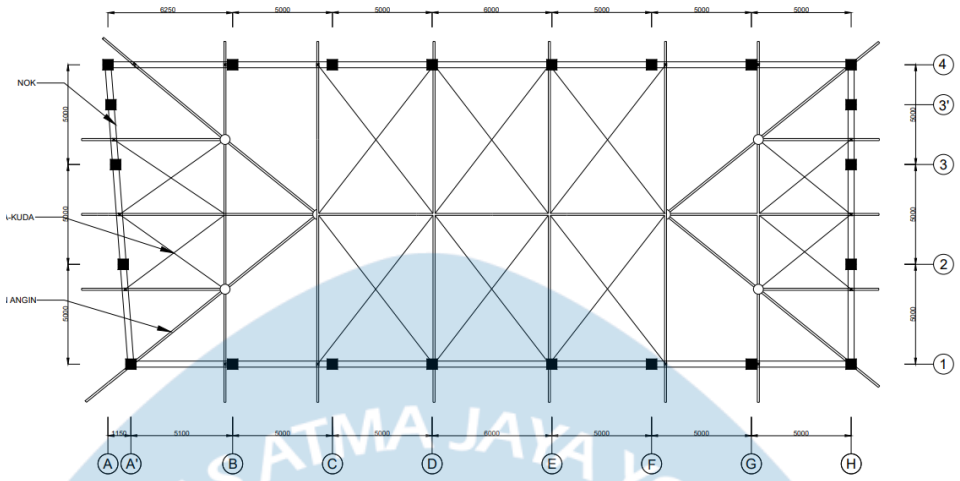
Gambar 2. 5 Koefisien Modifikasi Respon

2.4. Layout Kuda-Kuda

Berikut adalah layout kuda-kuda gording dan layout kuda-kuda ikatan angin dapat di lihat pada Gambal 2.6 dan Gambar 2.7.



Gambar 2. 6 Layout Kuda-kuda Gording



Gambar 2. 7 Layout Kuda-kuda Ikatan Angin

2.5.Perencanaan Gording

Perencanaan atap kuda-kuda baja meliputi elemen utama seperti kuda-kuda, gording, sagrod, dan ikatan angin untuk menjamin kekuatan dan kestabilan struktur. Pada bangunan berukuran 38,15 m x 16,5 m dengan kemiringan atap 35°, kuda-kuda dipasang setiap 3,1 meter untuk menopang beban atap secara efektif. Gording dipasang tegak lurus kuda-kuda dengan jarak tertentu untuk mendukung rangka, sedangkan sagrod berfungsi mencegah deformasi gording. Ikatan angin dipasang diagonal untuk memperkuat struktur terhadap gaya lateral angin. Semua perencanaan mengikuti standar konstruksi baja agar atap tetap kokoh dan aman.

Data-data yang diperlukan perhitungan atap adalah sebagai berikut :

Panjang bentang bangunan	= 38,15 m
Lebar bentang atap	= 16,5 m
Kemiringan atap	= 35°
Jarak antar gording	= 3,1 m
Jarak kuda-kuda	= 4,64 m
Massa atap	= 60 kg (atap genteng beton)
Massa *plafond*	= 20 kg
F_y baja	= 240 MPa

2.5.1 Perencanaan Gording

Perencanaan gording ruko, atap yang di gunakan adalah atap limasan degan profil kanal C, yaitu CNP 125x50x20x3,2 mm.

1. Beban Gording

Beban gording sendiri mencakup berat sendiri, berat atap, dan berat *plafond* sehingga akan diperoleh Beban mati/*Dead Load* rencana momen gording. Berikut data yang di gunakan dalam perencanaan gording:

Berat gording	= 6 kg/m
Jarak antar kuda-kuda	= 4,64 m
	= 4640 mm
Massa atap genteng beton	= 60 kg
	= 0,588 kn
Massa plafond	= 20 kg
	= 0,196 kn
f_y baja	= 240 MPa
Tiupan angin	= 0,25 kn/m^2

- Perhitungan sendiri atap dapat dihitung dengan rumus:

  Berat sendiri = $6 \times 0{,}0098$

  = 0,0588 kN/m^2

- Perhitungan berat atap dapat dihitung dengan rumus:

  Berat atap = $\frac{jarak\ antar\ gording}{\cos \alpha} \times$ berat sendiri

  = $\frac{3{,}1}{\cos 35°} \times 0{,}588$

  = $2{,}2252$ kN/m

- Perhitungan berat plafond dihitung dengan rumus:

  Berat *Plafond* = Jarak antar gording × Massa *plafond*

  = 3,1 × 0,196

  = 0,6076 kN/m

- Perhitungan *Dead Load* (DL) rencana gording menggunakan rumus:

  Dead Load = berat sendiri + berat atap + berat *plafond*

  = 0,0588 + 2,2252 + 0,6076

  = 2,8916 kN/m^2

- Beban hidup atap = 1 kN

2. Momen Gording

Rencana momen gording meliputi beban gording arah sumbu 2 dan arah sumbu 3. Beban dengan arah sumbu 2 pada atap limasan dihitung dengan rumus:

L = 6 m

$M_{2,D} = \frac{1}{8} \times q\ x \sin\alpha \times \left(\frac{L}{3}\right)^2$

$= \frac{1}{8} \times 2{,}2252 \times \sin 35 \times \left(\frac{4.64}{3}\right)^2$

= 0,4959 kNm

$M_{2,L} = \frac{1}{4} \times P \times \sin\alpha \times \frac{L}{3}$

$= \frac{1}{4} \times 1 \times \sin 45 \times \frac{4{,}64}{3}$

= 0,2218 kNm

$M_{3,D} = \frac{1}{8} \times q \times \cos\alpha \times L^2$

$= \frac{1}{8} \times 2{,}2252 \times \cos 35 \times 4{,}64^2$

= 5,5027kNm

$M_{3,L} = \frac{1}{4} \times P \times \cos\alpha \times L$

$= \frac{1}{4} \times 1 \times \cos 35 \times 4{,}64$

= 0,9502 kNm

3. Kombinasi Pembebanan

$M_{2,U}$	= 1,4 x 0,4959	= 0,6943 kNm
$M_{2,U}$	= 1,2 x 0,4959 + 1,6 x 0,2218	= 0,9499 kNm
Dipilih $M_{2,U}$	**= 0.9499 kNm**	
$M_{3,U}$	= 1,4 x 5,5027	= 7,7037 kNm
$M_{3,U}$	= 1,2 x 5,5027+ 1,6 x 0,9502	= 8,1235 kNm
Dipilih $M_{3,U}$	**= 8,1235 kNm**	

4. Tegangan

Dengan profil C 125x50x20x3,2 mm

I_3 = 5730000 mm^4

I_2 = 680000 mm^4

$W_3 = 57300\ mm^3$

$W_2 = 12900\ mm^3$

$f_b = \frac{M_{3,U}}{\phi W_3} + \frac{M_{2,U}}{\phi W_2} \leq Fy\ dengan\ nilai\ \phi = 0{,}9$

$f_b = \frac{8{,}1235}{0{,}9 \times 57300} + \frac{0{,}9499}{0{,}9 \times 12900} = 239{,}3499\ Mpa$

$f_b = 239 < 240$ Mpa **(Aman)**

5. Defleksi Gording

$\delta_2 = \frac{5}{384} x \frac{q \times \cos\alpha \times L^4}{EIx} + \frac{1}{48} x \frac{p \times \cos\alpha \times L^3}{EIx}$

$= \frac{5}{384} x \frac{0{,}2{,}8916\ x \cos 35 x\ 4640^4}{200000\ x\ 5730000} + \frac{1}{48} x \frac{1\ x \cos 35\ x\ 4640^3}{200000\ x\ 5730000}$

$= 12{,}5670$ mm

$\delta_3 = \frac{5}{384} \times \frac{q \times \sin\alpha \times (\frac{L}{3})^4}{EIy} + \frac{1}{48} \times \frac{p \times \sin\alpha \times (\frac{L}{3})^3}{EIy}$

$= \frac{5}{384} \times \frac{0{,}2{,}8916 \times \cos 35 \times 4640^4}{200000 \times 680000} + \frac{1}{48} \times \frac{1 \times \cos 35 \times 4640^3}{200000 \times 680000}$

$= 0{,}9090$ mm

$\delta = \sqrt{12{,}5670^2 + 0{,}9090^2} \leq \left(\frac{1}{240}\right) \times 4640$

$= 12{,}5998$ mm $\leq 19{,}3333$ mm **(Aman)**

2.5.2 Perencanaan Sagrod

Sagrod adalah batang penghubung antar gording yang berfungsi mencegah kelengkungan (tekuk lateral) gording akibat beban angin atau gravitasi. Selain itu, sagrod mengurangi deformasi dan lendutan gording, meningkatkan kestabilan rangka atap, serta menyalurkan gaya tarik dari beban horizontal pada atap, sehingga menjaga posisi dan kekuatan struktur atap secara keseluruhan.

Direncanakan jumlah gording dibawah nok = 3 bh

1. Perhitungan gaya sagrod

$F_{t.D}$ = n $((\frac{L}{3})$ x q x sin $\alpha)$

= 3 $(\frac{4{,}64}{3})$ x 2,8916 x sin 35

= 7,6958 kN

$F_{t.L}$ = $(\frac{n}{2})$ x P x sin α

$= (\frac{3}{2}) + 1 + \sin 35$

$= 0{,}8604$ kN

2. Kombinasi beban

$F_{t.u} = 1{,}4 \times F_{t.D}$

$= 1{,}4 \times 7{,}6958$

$= 10{,}7741$ kN

$F_{t.u} = (1{,}2 \times F_{t.D}) + (1{,}6 \times F_{t.L})$

$= (1{,}2 \times 7{,}6958) + (1{,}6 \times 0{,}8604)$

$= 10{,}6115$ kN

Dipilih $F_{t.u} = 10{,}6115$ kN

Luas batang sagrod yang dibutuhkan:

$Asr = \frac{F_t \times 10^3}{\phi F_y}$

$= \frac{10{,}6115 \times 10^3}{0{,}9 \times 240}$

$= 49{,}1273$ mm^2

Diameter digunakan :

$D = \sqrt{\frac{Asr}{\frac{1}{4} \times 3{,}14}}$

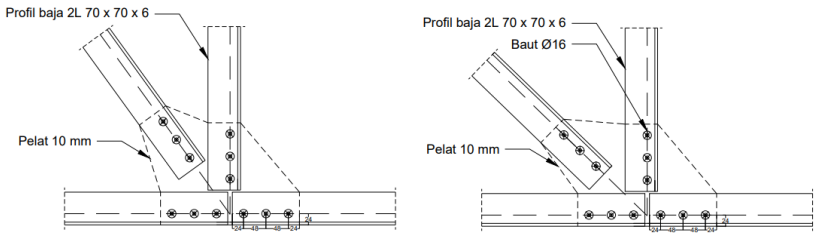
$= \sqrt{\frac{49{,}1273}{\frac{1}{4} \times 3{,}14}}$

$= 7{,}9109$ mm

Jadi, diameter yang digunakan adalah 10 mm.

2.5.3 Perhitungan Beban Kuda-Kuda

Selain beban mati, hidup, dan angin, kuda-kuda juga menanggung beban lain yang akan dihitung selanjutnya. Struktur kuda-kuda direncanakan menggunakan profil 2L 70x70x6 mm, dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Profil Baja 2L 70x70x6 mm

Data yang direncakan :

a = 3,1 m

b = 0,65 m

berat kuda-kuda = 0,5 kN/m^2

berat gording per m' = 0,0588 kN/m^2

berat atap = 0,588 kN

berat *plafond* = 0,196 kN

Beban P1

1) Berat sendiri kuda-kuda $= \frac{3,1}{2}$ berat kuda − kuda

$= 1,55 \times 0,5$

$= 0,775$ kN

2) Berat gording = L × berat gording per m'

$= 4,64 \times 0,0588$

$= 0,2728$ kN

3) Berat atap $= \frac{\frac{a}{2}+b}{\cos \alpha} \times$ L × berat atap

$= \frac{\frac{3,1}{2}+0,65}{\cos 35} \times 4,64 \times 0,588$

$= 2,4638$ kN

4) Berat *Plafond* $= \left(\frac{a}{2} + b\right) \times L \times$ berat $plafond$

$= \left(\frac{3,1}{2} + 0,65\right) \times 4,64 \times 0,196$

$= 2,0001$ kN

Berat P_1 total = 10,38 kN

Beban P_2

1) Berat sendiri kuda-kuda = a × berat kuda kuda

$= 3,1 \times 0,5$

= 1,5 kN

2) Berat gording = L × berat gording per m
= 4,64 × 0,0588
= 0,2728 kN

3) Berat atap = $\frac{a}{\cos \alpha} \times$ L $\times$ berat atap
= $\frac{3,1}{\cos 35} \times 4,64 \times 0,588$
= 10,3250 kN

4) Berat *plafond* = a × L × berat *plafond*
= 3,1 × 4,64 × 0,196
= 2,8193 kN

Berat P_2 total = 14,97 kN

Beban P_3

1) Berat sendiri kuda-kuda = a × berat kuda-kuda
= 3,1 × 0,5
= 1,5 kN

2) Berat gording = 2 × L × berat gording per m
= 2 × 4,64 × 0,0588
= 0,5457 kN

3) Berat atap = $\frac{a}{\cos \alpha} \times L \times$ berat atap
= $\frac{3,1}{\cos 35} \times 4,64 \times 0,588$
= 11,9611 kN

4) Berat plafond = a × L × berat *plafond*
= 3,1 × 4,64 × 0,196
= 2,8193 kN

Berat P_3 total = 16,88 kN

2.5.4 Perhitungan Beban Angin

Beban angin adalah gaya yang dihasilkan oleh tekanan atau hisapan angin pada struktur bangunan. Beban ini bervariasi tergantung pada kecepatan angin, ketinggian bangunan, bentuk bangunan, serta faktor lingkungan sekitarnya.

Perhitungan angin sebagai berikut:

ϕ = 35°

C_{ti} = 0,4

Qw = 0,25

C_{is} = -0,6

Beban W_1 $= \frac{2b}{\cos\theta} \times C_{ti} \times L \times Q_w$

$= \frac{2\ x\ 0{,}64}{\cos 35} \times (0{,}4) \times\ 4{,}64\ \times\ 0{,}25$

= 1,2462 kN

Beban W_2 $= \frac{a}{\cos\theta} \times C_{ti} \times L \times Q_w$

$= \frac{3{,}1}{\cos 35} \times (0{,}4) \times\ 4{,}64\ \times\ 0{,}25$

= 1,7559 kN

Beban W_3 $= \frac{\frac{a}{2}}{\cos\theta} \times\ C_{ti} \times L \times Q_w$

$= \frac{\frac{3{,}1}{2}}{\cos 35} \times\ (0{,}4)\ \times\ 4{,}64\ \times\ 0{,}25$

= -0,8779 kN

Beban W_4 $= \frac{\frac{a}{2}}{\cos\theta} \times C_{is} \times L \times Q_w$

$= \frac{\frac{3{,}1}{2}}{\cos 35} \times\ (-0{,}6)\ \times\ 4{,}64\ \times\ 0{,}25$

= -1,3169 kN

Beban W_5 $= \frac{a}{\cos\theta} \times\ C_{is} \times L \times Q_w$

$= \frac{3{,}1}{\cos 35} \times (-0{,}6) \times\ 4{,}64\ \times\ 0{,}25$

= -2,6339 kN

Beban W_6 $= \frac{2b}{\cos\theta} \times\ C_{is} \times L \times Q_w$

$= \frac{2\ x\ 0{,}65}{\cos 35} \times (-0{,}6) \times\ 4{,}64\ \times\ 0{,}25$

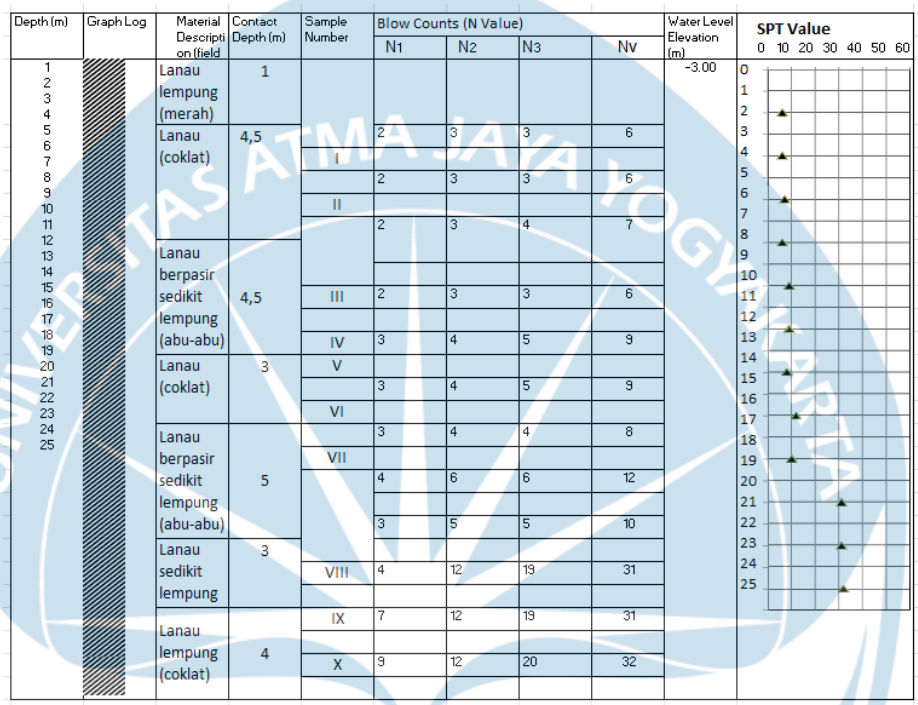
= -2,1654 kN

2.6. Identifikasi Tanah

Mengidentifikasi tanah merupakan bagian penting dalam perencanaan struktur karena kondisi tanah sangat berpengaruh terhadap keamanan dan kestabilan konstruksi. Data kondisi tanah umumnya diperoleh melalui pengujian *Standard Penetration Test* (SPT), yang menghasilkan nilai NSPT sebagai indikator tingkat

kepadatan dan kekuatan tanah di lapangan. Nilai tersebut kemudian digunakan untuk menentukan parameter geoteknik seperti daya dukung tanah dan karakteristik lainnya yang diperlukan dalam perencanaan pondasi. Oleh karena itu, Data SPT dan nilai NSPT dapat di lihat pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2. 4 Data Tanah SPT



Depth (m)	Material Description (field	Contact Depth (m)	Sample Number	Blow Counts (N Value) N1	N2	N3	Nv	Water Level Elevation (m)
1	Lanau lempung (merah)	1						-3.00
2								
3								
4								
5	Lanau (coklat)	4,5		2	3	3	6	
6			I					
7				2	3	3	6	
8			II					
9				2	3	4	7	
10								
11	Lanau berpasir sedikit lempung (abu-abu)	4,5	III	2	3	3	6	
12								
13			IV	3	4	5	9	
14								
15	Lanau (coklat)	3	V					
16				3	4	5	9	
17			VI					
18				3	4	4	8	
19	Lanau berpasir sedikit lempung (abu-abu)	5	VII					
20				4	6	6	12	
21								
22				3	5	5	10	
23	Lanau sedikit lempung	3						
24			VIII	4	12	19	31	
25								
			IX	7	12	19	31	
	Lanau lempung (coklat)	4						
			X	9	12	20	32	

SPT Value: 0 10 20 30 40 50 60

Tabel 2. 5 Nilai Nspt Rata-rata

ELEVASI	D	Nspt	(D/N)	N (Rata-rata)
0-2	2	6	0,3333	
02-Apr	2	6	0,3333	
04-Jun	2	7	0,2857	
06-Aug	2	6	0,3333	
08-Oct	2	9	0,2222	
10-Dec	2	9	0,2222	0,2115
Dec-14	2	8	0,25	
14-16	2	12	0,1667	
16-18	2	10	0,2	
18-20	2	31	0,0645	
20-22	2	31	0,0645	
22-25	2	32	0,0625	

Jumlah	25		

$\Sigma N = \frac{0,2115}{25} = 118,19$

Karna ΣN < 175 maka tanah tersebut adalah tanah lunak (SE)

2.7. *Preliminary* Design

2.7.1. *Preliminary* Kolom

Gedung yang dirancang merupakan bangunan rumah toko dengan jumlah lantai sebanyak 4 lantai. Dari dasar itu, asumsi dimensi penampang kolom yang digunakan yaitu 500 x 500 mm dengan pengecekan syarat kolom SRPMK sebagai berikut.

1) Dimensi B ≤ H 500 mm ≤ 500 mm (Memenuhi)
2) Perbandingan B/H ≥ 0,4
   500 / 500 ≥ 0,4
   1 ≥ 0,4 (Memenuhi)
3) Dimensi B ≥ 300 mm
   500 mm ≥ 300 mm (Memenuhi)

2.7.2. *Preliminary* Balok

A. Balok induk

Panjang bentang = 5000 mm

1) Penentuan Tinggi dan Lebar Balok
   a) Lebar penampang (b) = 300 mm
   b) Tinggi penampang (h) = 500 mm
   c) Perbandingan b/h ≥ 0,4
      $\frac{b}{h} = \frac{300}{500} = 0,6 \geq 0,4$
2) Pengecekan Syarat Dimensi Penampang Balok SRPMK
   Diketahui:
   Selimut beton = 40 mm
   Diameter sengkang = 10 mm
   Diameter tulangan utama = 19 mm
   h = 400 mm
   d = 400 – 40 – 10 – 19/2 = 340,5 mm

a) Pengecekan Ln ≥ 4d

5000 – 400 ≥ 4 x 340,5

4600 mm ≥ 1362 mm (Memenuhi)

b) Pengecekan b ≥ 0,3 h dan 250 mm

300 ≥ 0,3 x 400 dan 250 mm

300 ≥ 120 dan 250 mm (Memenuhi)

B. Balok anak 1

Panjang bentang = 1850 mm

1) Penentuan Tinggi dan Lebar Balok

a) Lebar penampang (b) = 250 mm

b) Tinggi penampang (h) = 350 mm

c) Perbandingan b/h ≥ 0,4

$\frac{b}{h} = \frac{250}{350} = 0{,}7 \geq 0{,}4$

2) Pengecekan Syarat Dimensi Penampang Balok SRPMK

Diketahui:

Selimut beton = 40 mm

Diameter sengkang = 10 mm

Diameter tulangan utama = 19 mm

h = 350 mm

d = 350 – 40 – 10 – 19/2 = 290,5 mm

a) Pengecekan Ln ≥ 4d

1850 – 350 ≥ 4 x 290,5

1500 mm ≥ 1162 mm (Memenuhi)

b) Pengecekan b ≥ 0,3 h dan 250 mm

250 ≥ 0,3 x 350 dan 250 mm

250 ≥ 105 dan 250 mm (Memenuhi)

C. Balok anak 2

Panjang bentang = 3500 mm

1) Penentuan Tinggi dan Lebar Balok

a) Lebar penampang (b) = 250 mm

b) Tinggi penampang (h) = 300 mm

c) Perbandingan b/h ≥ 0,4

$\frac{b}{h} = \frac{250}{300} = 0{,}8 \geq 0{,}4$

2) Pengecekan Syarat Dimensi Penampang Balok SRPMK

Diketahui:

Selimut beton = 40 mm

Diameter sengkang = 10 mm

Diameter tulangan utama = 19 mm

h = 300 mm

d = 300 – 40 – 10 – 19/2 = 240,5 mm

a) Pengecekan Ln ≥ 4d

3500 – 300 ≥ 4 x 240,5

3200 mm ≥ 962 mm (Memenuhi)

b) Pengecekan b ≥ 0,3 h dan 250 mm

250 ≥ 0,3 x 300 dan 250 mm

250 ≥ 90 dan 250 mm (Memenuhi)

2.7.3. *Preliminary* Pelat

L_y = 5000 mm

L_x = 3000 mm

$\frac{Ly}{Lx} = \frac{5000}{3000} = 1{,}6667$

Bila $\frac{Ly}{Lx} = 1{,}6667 \leq 2$, maka pelat yang ditinjau adalah jenis pelat dua arah, sesuai dengan SNI 2847: 2019 pada Pasal 8.3.1.1.

Data pelat lantai yang digunakan sebagai berikut :

Asumsi tebal pelat (h_f) = 125 mm

h balok = 300 mm

b balok = 400 mm

Mutu beton (f'c) = 25 MPa

Mutu baja (f_y) = 420 Mpa

Balok 1

a. Momen Inersia Balok 1 (B_1)

1. Dimensi efektif balok 1

Asumsi hf (tebal pelat) = 125 mm

Diketahui:

b_w = 300 mm

h = 400 mm

f = $h_b = (h-h_f)$

= 400 -125 = 275 mm

b_e = $b_w + 2h_b$

= 300 + (2 × 275) = 850 mm

Kontrol = $h_b < 4\ h_f$

= 275 < (4 × 125)

= 275 < 500 (AMAN)

2. Luasan penampang balok 1

Luas Bidang 1 (A_1) = f x b_w

= 275 x 300

= 82500 mm^2

Luas Bidang 2 (A_2) = b_e x h_f

= 850 x 125

= 106250 mm^2

Luas penampang (At) = $A_1 + A_2$

= 188750 mm^2

3. Titik berat penampang balok 1 (y)

Jarak antara titik berat bidang I ke sumbu X (yi_1)

$yi_1 = \frac{1}{2} \times hb = \frac{1}{2} \times 275$ = 137,5 mm

Jarak antara titik berat bidang II ke sumbu X (yi_2)

$yi_2 = hb + (\frac{1}{2} \times h_f)$ $= 275 + \left(\frac{1}{2} \times 125\right)$ = 337,5 mm

$y = \frac{(A_1 \times yi_1)+(A_2 \times yi_2)}{A_t} = \frac{(82500 \times 137{,}5)+(106250 \times 337{,}5)}{188750}$ = 250,0828 mm

4. Jarak antar titik berat bidang terhadap titik berat penampang

y_1 = y - yi_1 = 112,5827815 mm

y_2 = y - yi_2 = 87,41721854 mm

Momen inersia balok 1 (Ib_1) :

$$Ib = \left(\left(\frac{1}{12}.b_w.{h_b}^3\right) + (A_1.y_1)\right) + \left(\left(\frac{1}{12}.b_e.{h_f}^3\right) + (A_2.y_2)\right)$$

Ib = 705471354 mm^4

1. Momen Inersia Pelat 1

   Panjang balok = 6000 mm

   Panjang sisi kanan balok = 5000 mm

   Lebar pelat (l_x) = 2500 mm

   Tinggi pelat = 125 mm

   $$I_s1 = \frac{1}{12} \times l_x \times {h_f}^3$$

   $$I_s1 = \frac{1}{12} \times 2500 \times 125^3$$

   I_s1 = 406901042 mm^4

2. Modulus Elastisitas Beton Balok 1 dan Pelat 1 (E_{cb} 1 & E_{cs} 1)

   E_{cb} 1 = E_{cs} 1

   E = $4700\sqrt{f_c}$ = 23500 MPa

3. Rasio Kekakuan Balok 1 Terhadap Pelat 1 (af_1)

   $af_2 = \frac{E_{cb}1 \times Ib1}{E_{es}1 \times Is1} = \frac{23500 \times 705471354}{23500 \times 406901042} = 1{,}7337$

   af_2 = 1,733766 > 0,8 (SNI 2847:2019, Pasal 8.3.1.2.1) , maka kekakuan balok 1 aman terhadap pelat 1 (af_1)

Balok anak 1

a. Momen Inersia Balok Anak 1 (B_{A1})

1. Dimensi efektif balok anak

   Asumsi hf (tebal pelat) = 125 mm

   Diketahui:

   b_w = 250 mm

   h = 400 mm

   f = $h_b = (h-h_f)$

   = 400 -125 = 275 mm

   b_e = $b_w + 2h_b$

   = 250 + (2 x 275) = 800 mm

   Kontrol = $b_w + 2h_b < b_w + 8.h_f$

   = 800 < 250 + (8 x 125)

   = 800 < 1250 (AMAN)

2. Luasan penampang balok anak 1

Luas Bidang 1 (A_1) $= f \times b_w$

$= 275 \times 250$

$= 68750\ mm^2$

Luas Bidang 2 (A_2) $= b_e \times h_f$

$= 800 \times 125$

$= 106250\ mm^2$

Luas penampang (At) $= A_1 + A_2$

$= 168750\ mm^2$

3. Titik berat penampang balok anak 1 (y)

Jarak antara titik berat bidang I ke sumbu X (yi_1)

$y_{i1} = \frac{1}{2} \times h_b = \frac{1}{2} \times 275 = 137{,}5$ mm

Jarak antara titik berat bidang II ke sumbu X (yi_2)

$y_{i2} = h_b + (\frac{1}{2} \times h_f)$ $= 275 + \left(\frac{1}{2} \times 125\right)$ $= 337{,}5$ mm

$y = \frac{(A_1 \times yi_1)+(A_2 \times yi_2)}{A_t} = \frac{(56250 \times 137{,}5)+(87500 \times 337{,}5)}{168750} = 256{,}0185$ mm

4. Jarak antar titik berat bidang terhadap titik berat penampang

$y_1 = y - yi_1 = 118{,}5185$ mm

$y_2 = y - yi_2 = 81{,}4814$ mm

Momen inersia balok anak 1(Ib a 1)

$Ib = \left(\left(\frac{1}{12}.b_w.{h_b}^3\right) + (A_1.y_1)\right) + \left(\left(\frac{1}{12}.b_e.{h_f}^3\right) + (A_2.y_2)\right)$

$Ib = 606679688\ mm^4$

5. Momen Inersia Pelat Anak 1

Panjang balok $= 6000$ mm

Panjang sisi kanan balok $= 5000$ mm

Lebar pelat (l_x) $= 2500$ mm

Tinggi pelat $= 125$ mm

$Is = \frac{1}{12} \times l_x \times {h_f}^3$

$Is\ a = \frac{1}{12} \times 2500 \times 125^3$

$Is\ a = 406901042\ mm^4$

6. Modulus Elastisitas Beton Balok Anak dan Pelat Anak (E_{cb} a & E_{cs} a)

   E_{cb} a = E_{cs} a

   E = $4700\sqrt{f_c}$ = 23500 MPa

7. Rasio Kekakuan Balok Anak Terhadap Pelat Anak (af a)

   $A_f a = \frac{E_{cb}1 \times Ib1}{E_{es}1 \times Is1} = \frac{23500 \times 606679688}{23500 \times 406901042} = 1{,}4909$

   $A_f a$ = 1,4909 > 0,8 (SNI 2847:2019, Pasal 8.3.1.2.1), maka kekakuan balok anak aman terhadap pelat anak (af a)

Balok anak 2

Momen Inersia Balok Anak 2 (B_{A2})

1. Dimensi efektif balok anak

Asumsi hf (tebal pelat) = 125 mm

Diketahui:

b_w = 250 mm

h = 300 mm

f = $h_b = (h-h_f)$

= 300-125 = 175 mm

b_e = $b_w + 2h_b$

= 250 +(2 x 175) = 600 mm

Kontrol = $b_w + 2h_b < b_w + 8h_f$

= 600 < 250+ (8 x 125)

= 600 < 1250 (AMAN)

2. Luasan penampang balok anak

Luas Bidang 1 (A_1) = f x b_w

=175 x 250

= 43750 mm^2

Luas Bidang 2 (A_2) = b_e x h_f

= 600 x 175

= 75000 mm^2

Luas penampang (At) = $A_1 + A_2$

= 118750 mm^2

3. Titik berat penampang balok anak (y)

   Jarak antara titik berat bidang I ke sumbu X (yi_1)

$y_{i1} = \frac{1}{2} \times h_b = \frac{1}{2} \times 175 = 87{,}5$ mm

Jarak antara titik berat bidang II ke sumbu X (yi 2)

$y_{i2} = h_b + (\frac{1}{2} \times h_f) = 175 + \left(\frac{1}{2} \times 125\right) = 237{,}5$ mm

$y = \frac{(A_1 \times yi_1)+(A_2 \times yi_2)}{A_t} = \frac{(43750 \times 87{,}5)+(75000 \times 237{,}5)}{118750}$

= 182,2368 mm

4. Jarak antar titik berat bidang terhadap titik berat penampang

$y_1 = y\text{-}yi_1 = 94{,}7368$ mm

$y_2 = y\text{-}yi_2 = 55{,}2631$ mm

Momen inersia balok anak (Ib a)

$$Ib = \left(\left(\frac{1}{12}.b_w.{h_b}^3\right) + (A_1.y_1)\right) + \left(\left(\frac{1}{12}.b_e.{h_f}^3\right) + (A_2.y_2)\right)$$

$Ib = 230950521$ mm^4

a. Momen Inersia Pelat Anak

Panjang balok = 3500 mm

Panjang sisi kanan balok = 2000 mm

Lebar pelat (l_x) = 1000 mm

Tinggi pelat = 125 mm

$$I_s = \frac{1}{12} \times l_x \times {h_f}^3$$

$$I_s\ a = \frac{1}{12} \times 1000 \times 125^3$$

I_s a = 162760417 mm^4

b. Modulus Elastisitas Beton Balok Anak dan Pelat Anak (E_{cb} a & E_{cs} a)

E_{cb} a = E_{cs} a

$E = 4700\sqrt{f_c} = 23500$ MPa

c. Rasio Kekakuan Balok Anak Terhadap Pelat Anak (af a)

$A_{f\,a}\ 2 = \frac{E_{cb}1 \times Ib1}{E_{es}1 \times Is1} = \frac{23500 \times 606679687{,}5}{23500 \times 1627604117} = 1{,}4189$

$A_{f\,a} = 1{,}4189 > 0{,}8$ (SNI 2847:2019, pasal 8.3.1.2.1), maka kekakuan balok anak aman terhadap pelat anak (afa 2)

2.8. Penentuan Tebal Pelat

Penentuan tebal pelat itu jadi salah satu bagian penting dalam perencanaan struktur, karena cukup berpengaruh ke kekuatan, kekakuan, sekaligus efisiensi biaya. Jadi, nggak bisa ditentukan asal-asalan. Biasanya, yang jadi pertimbangan itu bentang pelat, jenis tumpuannya, dan juga beban yang bekerja, baik beban mati maupun beban hidup. Di awal, umumnya dipakai pendekatan sederhana dulu, misalnya dari perbandingan bentang terhadap tebal pelat. Setelah itu baru dicek lagi, terutama dari segi lendutan dan kekuatannya, supaya pelatnya nggak mengalami deformasi berlebihan dan tetap aman menahan beban. Perencannaan penentuan tebal pelat dapat di lihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Penentuan Tebal Pelat

Balok		**Balok Induk**	**Balok anak 1**	**Balok anak 2**
Dimensi efektif (mm)	h_b			
		275	275	175
	$4 .h_f$	500		
	$b_w + 2h_b$		800	600
	$b_w + 8h_f$		1250	1250
Luasan penampang balok (mm^2)		188750	168750	118750
Titik berat penampang balok (mm)		250,0828	256,0185	182,2368
Momen Inersia Balok (mm^4)		705471354	606679688	230950521
Momen Inersia pelat (mm^4)		406901042	406901042	162760417
Modulus elastisitas balok dan pelat		23500	23500	23500
Rasio kekakuan balok terhadap pelat		1,7337	1,4909	1,4189
Rasio Kekakuan rata-rata (*afm*)		1,5479		

L_n = L_y - (2 x 300) = 4400 mm

L_{n1} = L_y - (2 x 300) = 4400 mm

L_{n2} = L_x - (2 x 300) = 2400 mm

β = L_{n1}/L_{n2} = 1,833333 mm

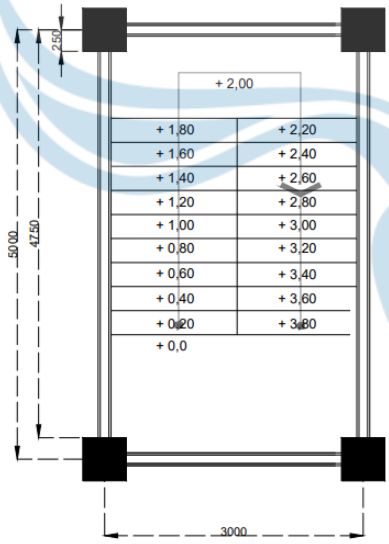
h $= \frac{\ln\left(0{,}8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36+9\beta}$ = 100,0915 < 125 mm

h digunakan = 125 mm

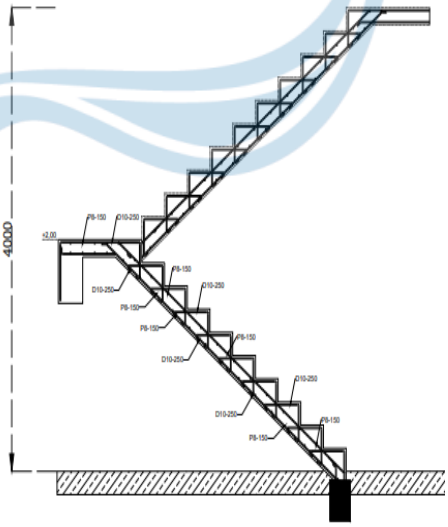
2.9. Rencana Penulangan Tangga

Dalam perencanaan bangunan bertingkat, tangga menjadi salah satu elemen penting dalam sistem sirkulasi vertikal. Meskipun saat ini banyak bangunan yang mengandalkan lift untuk memudahkan perpindahan antar lantai, keberadaan tangga tetap tidak bisa diabaikan. Tangga punya keunggulan dari segi fungsi yang sederhana, mudah digunakan, tidak bergantung pada listrik, dan tetap bisa dipakai dalam berbagai kondisi operasional.

Karena itu, perencanaan tangga perlu dipikirkan dengan cukup matang. Hal-hal seperti penentuan dimensi, jumlah serta tinggi anak tangga, kemiringan, kapasitas pengguna, sampai aspek kenyamanan dan keselamatan harus diperhatikan dengan baik. Semua ini penting supaya tangga tidak hanya berfungsi dengan baik, tapi juga aman dan nyaman digunakan. Berikut merupakan data-data yang digunakan dalam perancangan tangga, detail dari data tersebut dapat di lihat pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10 berikut:



Gambar 2. 9 Tampak Atas Tangga



Gambar 2. 10 Tampak Samping Tangga

Spesifikasi rencana penulangan tangga dapat dilihat sebagai berikut :

1. Diameter tulangan pokok = 10 mm
2. Diameter tulangan susut = 8 mm
3. F_y tulangan pokok = 420 Mpa
4. F_y tulangan susut = 280 Mpa
5. Kuat tekan beton (f'c) = 25 MPa
6. Lebar ditinjau (B) = 1000 mm
7. Selimt beton = 20 mm
8. H_{tg} = 150 mm
9. Φ = 0,9
10. β_1 = 0,85

Perhitungan gaya dalam untuk tangga menggunakan bantuan *software ETABS* dengan permodelan berupa portal sederhana. Hasil gaya dalam dapat dilihat sebagai berikut.

M_{ur} = 14,0772 kNm

V_{ur} = 17,8161 kN

1. Rencana Penulangan Tangga Tumpuan

M_u = 0,5 × 14,07 × Mur

= 7,0385 kNm

d_s = tebal pelat tangga − selimut beton − $\frac{D}{2}$

d_s = $150 - 20 - \frac{10}{2}$

d_s = 125 mm

$\rho = \frac{0{,}85f'c}{f_y}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{1-Mu}{1{,}7f'cbd^2}}\right)$

$\rho = \frac{0{,}85 \times 25}{420}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{1- 7{,}03858}{1{,}7 \times 25 \times 1000 \times 125^2}}\right)$

ρ = 0,001206

$A_{s\ min}$ = 0,002×b×h

$A_{s\ min}$ = 0,002 × 1000 x 150

$A_{s\ min}$ = 300 mm^2

$A_{s\ perlu}$ = ρ×b×d

$A_{s\ perlu}$ = 0,001206 × 1000 × 125

$A_{s\ perlu}$ = 150,7616 mm^2

A_s tul. Utama $= \frac{\pi}{4} \times d^2$

A_s tul. Utama $= \frac{\pi}{4} \times 10^2$

A_s tul. Utama $= 78{,}5398\ mm^2$

Spasi $= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{As\ min}$

Spasi $= \frac{\frac{1}{4}\pi \times 10^2 \times 1000}{300}$

Spasi $= 261{,}7994$

Spasi yang digunakan yaitu 250 mm, maka tulangan pokok tumpuan yang digunakan yaitu D10 – 250 mm.

Pengecekan terhadap geser :

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

$V_c = 0{,}17 \sqrt{25} \times 1000 \times 125$

$V_c = 106250$ N

$V_c = 106{,}25$ kN

$\phi V_c = 0{,}75 \times Vc$

$\phi V_c = 0{,}75 \times 106{,}25$

$\phi V_c = 79{,}6875$ kN

$\phi V_c > V_{ur} \rightarrow 79{,}6875 > 17{,}81601$ (AMAN)

Spasi $= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{As\ min}$

Spasi $= \frac{\frac{1}{4}\pi \times 8^2 \times 1000}{300}$

Spasi $= 167{,}5516$ mm

Spasi yang digunakan untuk tulangan susut yaitu 150 mm. Maka tulangan susut tumpuan digunakan yaitu D8-150 mm.

2. Rencana Penulangan Tangga Lapangan

$M_{ux} = 0{,}8 \times 17{,}8161 \times M_{ur}$

$= 11{,}2617$ kNm

d_s = tebal pelat tangga − selimut beton $- \frac{D}{2}$

$d_s = 150 - 20 - \frac{10}{2}$

$d_s = 125$ mm

ρ $= \frac{0{,}85f'c}{f_y}\left(1-\sqrt{1-\frac{1-Mu}{1{,}7f'cbd^2}}\right)$

ρ $= \frac{0{,}85\times 25}{420}\left(1-\sqrt{1-\frac{1-11{,}261728}{1{,}7\times 25\times 1000\times 125^2}}\right)$

ρ $= 0{,}001944098$

$A_{s\ min}$ $= 0{,}002\times b\times h$

$A_{s\ min}$ $= 0{,}002\times 1000\times 150$

$A_{s\ min}$ $= 300\ mm^2$

As perlu $= \rho\times b\times d$

As perlu $= 0{,}001944098\times 1000\times 125$

As perlu $= 243{,}0122\ mm^2$

As tul. Utama $= \frac{\pi}{4}\times d^2$

As tul. Utama $= \frac{\pi}{4}\times 10^2$

As tul. Utama $= 78{,}5398\ mm^2$

Spasi $= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{As\ min}$

Spasi $= \frac{\frac{1}{4}\pi\times 10^2\times 1000}{300}$

Spasi $= 261{,}7994$

Spasi yang digunakan yaitu 250 mm, maka tulangan pokok tumpuan yang digunakan yaitu D10 – 250 mm.

Pengecekan terhadap geser :

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

Vc $= 0{,}17\sqrt{25}\times 1000\times 125$

Vc $= 106250\ N$

Vc $= 106{,}25\ kN$

ϕVc $= 0{,}75\times$ Vc

ϕVc $= 0{,}75\times 106{,}25$

ϕVc $= 79{,}6875\ kN$

$\phi Vc > V_{ur} \rightarrow 79{,}6875 > 17{,}81601$ (AMAN)

Spasi $= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{As\ min}$

Spasi $= \frac{\frac{1}{4}\pi \times 8^2 \times 1000}{300}$

Spasi = 167,5516 mm

Spasi yang digunakann untuk tulangan susut yaitu 150 mm. Maka tulangan susut tumpuan digunakan yaitu D8-150 mm.

2.10. Pembebanan Pada Gedung

Dalam perancangan gedung, pemahaman mengenai konsep pembebanan menjadi hal yang penting karena beban yang bekerja pada struktur digunakan sebagai dasar dalam proses analisis dan perencanaan elemen struktur, sehingga bangunan dapat dirancang dengan aman dan mampu menahan beban yang terjadi.

Berikut data – data yang digunakan dalam perancangan Gedung Rusun Yogyakarta sebagai gambaran mengenai kondisi bangunan dan beban yang bekerja pada bangunan tersebut.

A. Data Struktur

Tebal pelat lantai	= 125 mm
Balok induk 1 (B_1)	= 300 × 400 mm
Balok anak 1 (B_{A1})	= 250 × 350 mm
Balok Anak 2 (B_{A2})	= 250 × 300 mm
Tinggi antar lantai	= 4000 mm
Kolom (K1)	= 500 × 500 mm
Jumlah lantai	= 4
f'c	= 25 Mpa
fy	= 420 Mpa
ɣ Beton	= 24 kN/m^3
ɣ Pasir	= 17 kN/m^3
ɣ Spesi	= 20 kN/m^3
lebar bangunan	= 16,5 m
panjang bangunan	= 37,41 m
Pasangan dinding	= 2,5 kN/m^2
LL koridor	= 4,79 kN/m^2
LL toko lt1	= 4,79 kN/m^2
LL toko lt2	= 3,59 kN/m^2

LL tangga = 4,79 kN/m^2

Parameter jogja sleman

S_{DS} = 0,749 g

S_{D1} = 0,739 g

T_0 = 0,197 dtk

T_s = 0,987 dtk

T = 0,436 dtk

K_{DS} = D

Sistem gedung = SPRMK

R = 8

C_d = 5,5

C_s = 0,032

B. Berat satuan atap

Berat sendiri pelat $= tebal\ pelat \times \frac{\text{ɣ beton}}{1000}$

$= 125 \times \frac{24}{1000}$

= 3 kN/m^2

Waterproofing = 1,2 kN/m^2

plafon, MEP dll = 0,25 kN/m^2

DL $= 3 + 1{,}2 + 0{,}25$

= 4,45 kN/m^2

DL tanpa pelat $= 4{,}45 - 3$

= 1,45 kN/m^2

C. Berat satuan lantai tipikal 1-4 (t=125 mm)

Berat sendiri pelat $= tebal\ pelat \times \frac{\text{ɣ beton}}{1000}$

$= 125 \times \frac{24}{1000}$

= 3 kN/m^2

Pasir 4 cm $= 0{,}04 \times$ ɣ pasir

$= 0{,}04 \times 17$

= 0,68 kN/m^2

Spesi 2 cm $= 0{,}02 \times$ ɣ spesi

$= 0{,}02 \times 20$

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

Penutup lantai $= 0{,}01 \times$ ɣ $beton$

$= 0{,}01 \times 24$

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

Partisi $= 1$ kN/m^2

plafon, MEP dll $= 0{,}25$ kN/m^2

DL $= 3 + 0{,}68 + 0{,}4 + 0{,}24 + 1 + 0{,}25$

$= 5{,}57$ kN/m^2

DL tanpa pelat $= 5{,}57 - 3$

$= 2{,}57$ kN/m^2

D. Berat satuan balok kolom

Balok induk $= \frac{panjang}{1000} \times \left(\frac{lebar}{1000} - \frac{tebal\ pelat}{1000}\right) \times$ ɣ $beton$

$= \frac{300}{1000} \times \left(\frac{400}{1000} - \frac{125}{1000}\right) \times 24$

$= 1{,}98$ kN/m

Balok anak 1 $= \frac{panjang}{1000} \times \left(\frac{lebar}{1000} - \frac{tebal\ pelat}{1000}\right) \times$ ɣ $beton$

$= \frac{250}{1000} \times \left(\frac{350}{1000} - \frac{125}{1000}\right) \times 24$

$= 1{,}35$ kN/m

Balok anak 2 $= \frac{panjang}{1000} \times \left(\frac{lebar}{1000} - \frac{tebal\ pelat}{1000}\right) \times$ ɣ $beton$

$= \frac{250}{1000} \times \left(\frac{300}{1000} - \frac{125}{1000}\right) \times 24$

$= 1{,}05$ kN/m

Kolom $= \frac{500}{1000} \times \frac{500}{1000} \times 24$

$= 6$ kN/m

1) Beban lantai 1

Pelat lantai $=$ p bangunan $\times$ l bangunan $\times$ DL

$= 37{,}41 \times 16{,}5 \times 5{,}57$

$= 3438{,}1661$ kN

Balok induk = $(13 \times p\ bangunan + 4 \times l\ bangunan) \times balok\ induk$

$= (13 \times 37{,}41 + 4 \times 16{,}5) \times 1{,}98$

= 1093,6134 kN

Balok anak 1 = $(9 \times l\ bangunan) \times balok\ anak\ 1$

$= (9 \times 16{,}5) \times 1{,}35$

= 200,475 kN

Balok anak 2 = $(5 \times p\ bangunan + 8 \times l\ bangunan) \times balok\ aank\ 2$

$= (5 \times 37{,}41 + 8 \times 16{,}5) \times 1{,}05$

= 335,0025 kN

Kolom = $(32 \times (2 \times 1{,}9)) \times kolom$

$= \big(32 \times (2 \times 1{,}9)\big) \times 6$

= 729.6 kN

W1 = 5796,8570 kN

2) Beban lantai 2

Pelat lantai = p bangunan × l bangunan × DL

$= 37{,}41 \times 16{,}5 \times 5{,}57$

= 3438,1661 kN

Balok induk = $(13 \times p\ bangunan + 4 \times l\ bangunan) \times balok\ induk$

$= (13 \times 37{,}41 + 4 \times 16{,}5) \times 1{,}98$

= 1093,6134 kN

Balok anak 1 = $(5 \times l\ bangunan + 2 \times l\ bangunan) \times balok\ anak\ 1$

$= (5 \times 16{,}5 + 2 \times 16{,}5) \times 1{,}35$

= 212,382 kN

Balok anak 2 = $(12 \times p\ bangunan + 7 \times l\ bangunan) \times balok\ aank\ 2$

$= (12 \times 37{,}41 + 7 \times 16{,}5) \times 1{,}05$

= 592,641 kN

Kolom = $(32 \times (2 \times 1{,}9)) \times kolom$

$= \big(32 \times (2 \times 1{,}9)\big) \times 6$

= 729.6 kN

W2 = 6066,4025 kN

3) Beban lantai 3

Pelat lantai = p bangunan × l bangunan × DL

= 37,41 × 16,5 × 5,57

= 3438,1661 kN

Balok induk = $(13 \times p\ bangunan + 4 \times l\ bangunan) \times balok\ induk$

= $(13 \times 37{,}41 + 4 \times 16{,}5) \times 1{,}98$

= 1093,6134 kN

Balok anak 1 = $(5 \times l\ bangunan + 3 \times l\ bangunan) \times balok\ anak\ 1$

= $(9 \times 16{,}5 + 3 \times 16{,}5) \times 1{,}35$

= 262,8855 kN

Balok anak 2 = $(12 \times p\ bangunan + 7 \times l\ bangunan) \times balok\ aank\ 2$

= $(12 \times 37{,}41 + 7 \times 16{,}5) \times 1{,}05$

= 592,641 kN

Kolom = $(32 \times (2 \times 1{,}9)) \times kolom$

= $\big(32 \times (2 \times 1{,}9)\big) \times 6$

= 729.6 kN

W3 = 6116,9060 kN

4) Beban lantai 4

Pelat lantai = p bangunan × l bangunan × DL

= 37,41 × 16,5 × 5,57

= 3438,1661 kN

Balok induk = $(13 \times p\ bangunan + 4 \times l\ bangunan) \times balok\ induk$

= $(13 \times 37{,}41 + 4 \times 16{,}5) \times 1{,}98$

= 1093,6134 kN

Balok anak 1 = $(5 \times l\ bangunan + 3 \times l\ bangunan) \times balok\ anak\ 1$

= $(9 \times 16{,}5 + 3 \times 16{,}5) \times 1{,}35$

= 262,8855 kN

Balok anak 2 = $(12 \times p\ bangunan + 7 \times l\ bangunan) \times balok\ aank\ 2$

$= (12 \times 37{,}41 + 7 \times 16{,}5) \times 1{,}05$

$= 592{,}641$ kN

Kolom $= (32 \times (2 \times 1{,}9)) \times kolom$

$= \big(32 \times (2 \times 1{,}9)\big) \times 6$

$= 729.6$ kN

W4 $= 6116{,}9060$ kN

5) Beban lantai atap

Pelat lantai $=$ p bangunan $\times$ l bangunan $\times$ DL

$= 37{,}41 \times 16{,}5 \times 5{,}57$

$= 3438{,}1661$ kN

Balok induk $= (7 \times p\ bangunan + 4 \times l\ bangunan) \times balok\ induk$

$= (7 \times 37{,}41 + 4 \times 16{,}5) \times 1{,}98$

$= 649{,}1826$ kN

Balok anak 1 $= (7 \times l\ bangunan) \times balok\ anak\ 1$

$= (7 \times 16{,}5) \times 1{,}35$

$= 155{,}925$ kN

Kolom $= (32 \times (2 \times 1{,}9)) \times kolom$

$= \big(32 \times (2 \times 1{,}9)\big) \times 6$

$= 729.6$ kN

W atap $= 4972{,}8737$ kN

Jadi, total DL yang di miliki pada pembebabanan pada gedung adalah 29069,9449 kN.

2.11. Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur

Pemeriksaan ketidakberaturan struktur dilakukan untuk menilai kondisi dan keadaan suatu bangunan guna memastikan bahwa bangunan tersebut telah memenuhi kelayakan dan keamanan sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019 di Indonesia.

A. Ketidakberaturan Horizontal

1. Ketidakberaturan Torsi

Dalam analisis ketidakberaturan horizontal pada suatu struktur bangunan, terdapat beberapa jenis ketidak beraturan yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah ketidak beraturan torsi. Nilai ketidakberaturan torsi diperoleh melalui proses analisis dan perancangan struktur yang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak rekayasa, seperti ETABS terlihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Ketidakberaturan Torsi

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
4	1,031	OK	1,057	OK
3	1,03	OK	1,055	OK
2	1,03	OK	1,056	OK
1	1,03	OK	1,057	OK

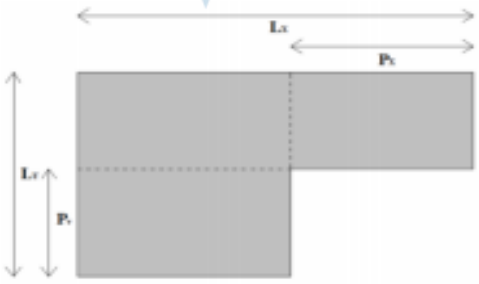
Ketidakberaturan 1a max :

$$(\delta_A, \delta_B) > 1,2\left(\frac{\delta_A + \delta_B}{2}\right) \rightarrow \frac{max\,(O_A, O_B)}{\left(\frac{\delta_A + \delta_B}{2}\right)} > 1,2$$

Dari hasil perhitungan beban gempa pada arah X dan arah Y tidak terjadi atau tidak mengalami ketidakberaturan torsi. Hal yang mengakibatkan tidak terjadinya ketidakberaturan torsi, dikarenakan *story drift* lebih kecil dari *story drift* rata-rata.

2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Kondisi ini terjadi ketika kedua dimensi proyeksi denah struktur pada bagian sudut dalam memiliki ukuran yang lebih dari 15% terhadap dimensi total denah struktur pada arah yang sedang ditinjau. Artinya, ada bagian sudut yang cukup menonjol sehingga membuat bentuk denah jadi tidak beraturan. Ilustrasi mengenai ketidakberaturan horizontal pada sudut dalam ini dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Ketidakberaturan Sudut Dalam

Dibawah ini dalah hasil perhitungan Ketidakberaturan Sudut Dalam, menggunakan *software* ETABS seperti pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Ketidakberaturan Sudut Dalam

L_x (m)	37,15
P_x (m)	0
L_y(m)	15
P_y	0
L_x/P_x	0,0000
L_y/P_y	0,0000
Cek	OK

Bangunan dinyatakan aman terhadap ketidakberaturan sudut dalam karena tidak memiliki sudut dalam.

3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Kondisi ini terjadi ketika diafragma pada suatu struktur mengalami ketidakberaturan, misalnya karena adanya perubahan kekakuan yang cukup drastis dalam satu bidang. Hal ini bisa disebabkan oleh adanya bukaan atau bagian yang terpotong dengan luas lebih dari 50% dari total area diafragma yang seharusnya utuh, atau karena perbedaan kekakuan efektif antar lantai yang juga melebihi 50%. Situasi seperti ini membuat distribusi gaya dalam struktur jadi tidak merata dan perlu diperhatikan dalam perencanaan. Ilustrasi mengenai ketidakberaturan horizontal akibat diskontinuitas diafragma dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Dari hasil pemodelan menggunakan *software* ETABS, ketidakberaturan diskontinuitas diafragma seperti pada Tabel 2.9.

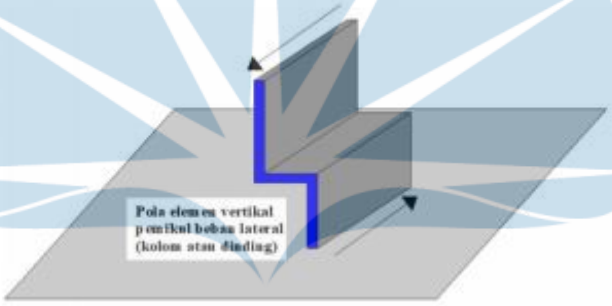
Tabel 2. 9 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Syarat 1		
A_{total}	557	m^2
A_{bukaan}	68,8688	m^2
Cek	OK	

Tidak terjadi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma dikarenakan A_{bukaan} lebih kecil dari 50% $A_{total.}$

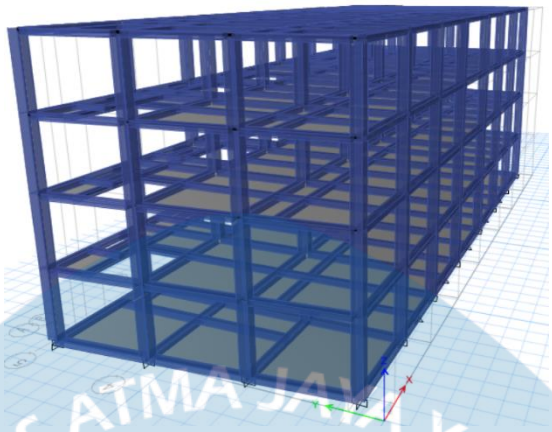
4. KetidakBeraturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Ketidakberaturan ini terjadi karena adanya pergeseran yang tegak lurus terhadap bidang. Kondisi ini muncul ketika lintasan penyaluran gaya lateral tidak menerus, misalnya ada elemen vertikal penahan gaya yang posisinya bergeser dari jalur seharusnya. Ilustrasi mengenai ketidakberaturan ini dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

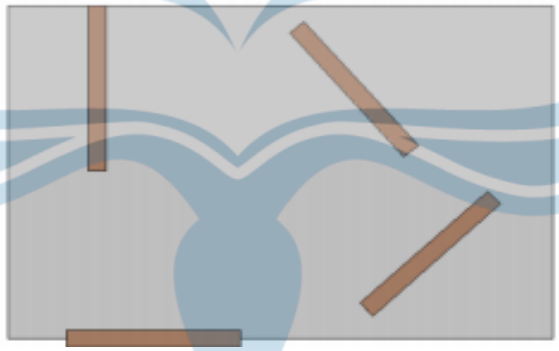
Dari bentuk bangunan pada gambar 2.14 tidak terdapat ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang dikarenakan seluruh elemen vertikal menopang semua gaya lateral.



Gambar 2. 14 Bentuk bangunan pada *software* ETABS

5. Ketidakberaturan Sistem Nonpararel

Kondisi ini bisa dianggap sebagai bentuk ketidakberaturan ketika elemen vertikal yang berfungsi menahan gaya lateral tidak tersusun sejajar dengan sumbu ortogonal utama pada sistem pemikul gaya gempa. Artinya, posisi elemen tersebut tidak mengikuti arah utama struktur yang seharusnya. Pada Gambar 2.15 ditunjukkan contoh ilustrasi ketidakberaturan yang terjadi akibat adanya pergeseran yang arahnya tegak lurus terhadap bidang struktur.



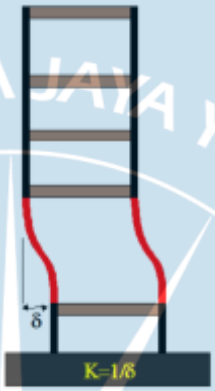
Gambar 2. 15 Ketidakberaturan Sistem Vertikal

Tidak terdapat ketidakberaturan pada sistem vertikal karena seluruh elemen vertikal yang berfungsi menahan gaya lateral tersusun sejajar dengan sumbu utama vertikal dari sistem penahan gaya seismik.

b. Ketidakberaturan Vertikal

1. Ketidakberaturan Kekuatan Lunak

Dalam ketidakberaturan vertikal terdapat beberapa jenis, salah satunya adalah ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak. Jenis ketidakberaturan ini menunjukkan perbedaan kekakuan yang signifikan antar lantai bangunan. Nilainya diperoleh melalui proses analisis atau perancangan struktur menggunakan *software* ETABS, yang membantu menentukan apakah suatu tingkat termasuk dalam kategori tingkat lunak atau tidak. Seperti pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Ketidakberaturan Kekuatan Tingkat Lunak

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak tipe 1a dan 1b mempunyai syarat, yaitu:

Tipe 1a

$K_i < 70\% K_{i+1}$

$K_i < 80\%$ rata – rata 3 tingkat

Tipe 1b

$K_i < 60\% K_{i+1}$

$K_i < 70\%$ rata – rata 3 tingkat

Berikut dibawah ini adalah tabel hasil perhitungan ketidakberaturan tingkat lunak tipe 1a dan 1b mengunakan bantuan *software ETABS* seperti pada Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Ketidakberaturan Tingkat Lunak l_a dan l_b

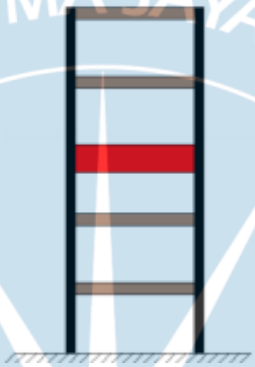
Lantai	**Arah X**		**Arah Y**	
	Kekakuan	**Cek**	**Kekakuan**	**Cek**
	kN/m		**kN/m**	
Atap	55285,804	OK	52994,889	OK

4	51262,323	OK	49126,208	OK
3	61597,075	OK	59493,9	OK
2	132381,234	OK	129225,672	OK

Dikarenakan A/B < 70%, maka tidak terdapat ketidakberaturan kekuatan tingkat lunak.

2. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Dalam menentukan ketidakberaturan berat (massa) seperti pada Gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Ketidakberaturan Berat (massa)

ketidakberaturan berat dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$W_i > 150\% W_{i+1}$ atau $W_i > 150\% W_{i-1}$

Berikut hasil perhitungan ketidakberaturan berat (massa) dan degan bantuan *software* ETABS terlihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Perhitungan Ketidakberaturan Berat (massa)

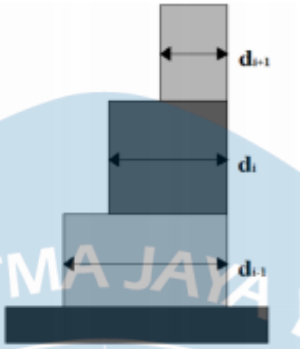
Lantai	**Massa**	**Cek**
	kg	
4	621094,04	OK
3	852118,38	OK
2	835713,18	OK
1	835713,18	OK

Dari hasil tabel di atas tidak terdapat ketidakberaturan berat (massa), dikarenakan hasil dari B/A > 150%

3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Dalam melakukan perhitungan untuk ketidakberaturan geometri vertikal seperti pada Gambar 2.18, dapat mengunakan rumus:

$d_i > 130\% d_{i+1}$ atau $d_i > 130\% d_{i-1}$



Gambar 2. 18 Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Hasil perhitungan ketidakberaturan geometri vertikal dengan bantuan *software* ETABS terlihat pada Tabel 2.12.

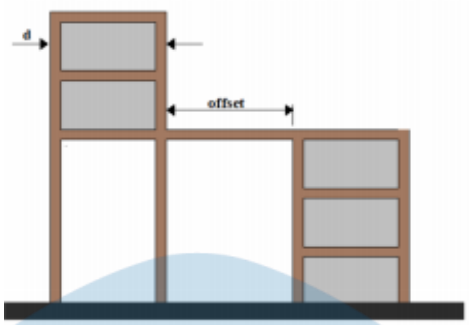
Tabel 2. 12 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Lantai	L	Cek
	mm	
4	15	OK
3	15	OK
2	15	OK
1	15	OK

Dari hasil tabel di atas tidak terdapat ketidakberaturan geometri vertikal, dikarenakan semua kolom menerus keatas dengan dimensi yang sama, sehingga tidak terjadi ketidakberaturan geometri vertikal.

4. Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal

Diskontinuitas arah bidang pada ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal terjadi ketika arah elemen pemikul gaya lateral bergeser cukup besar, bahkan melebihi panjang elemennya, atau ketika terjadi penurunan kekakuan pada elemen di lantai bawahnya. Kondisi ini biasanya ditunjukkan dalam ilustrasi seperti pada Gambar 2.19.



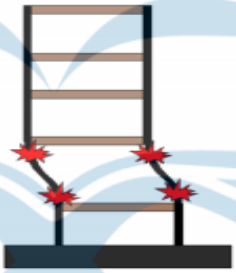
Gambar 2. 19 Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal

Tidak terdapat ketidakberaturan diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal.

5. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat mempunyai rumus dalam perhitungan yaitu seperti Gambar 2.20 dibawah ini:

$V_{ni} < 65\% V_{ni+1}$



Gambar 2. 20 Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Ketidakberaturan tipe 5a dan 5b mempunyai syarat, yaitu:

Tipe 5a

$V_{ni} < 80\% V_{ni+1}$

Tipe 5b

$V_{ni} < 60\% V_{ni+1}$

Hasil perhitungan diskontinuitas pada ketidakberaturan tipe 5a dan 5b dengan bantuan *software* ETABS terlihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2. 13 Perhitungan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan kN	Cek	Kekuatan kN	Cek
ATAP	3103,6198	OK	3103,6198	OK
4	3862,3601	OK	3862,3601	OK
3	4325,7801	OK	4325,7801	OK
2	4529,1937	OK	4529,1937	OK

Tidak terdapat ketidakberaturan diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat

2.12. Perancangan Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan elemen penting dalam struktur bangunan yang bertumpu pada balok. Komponennya harus tipis, kaku, dan rata agar mampu menyalurkan beban ke balok penopang. Selain berfungsi sebagai tempat pijakan penghuni, pelat lantai juga berperan dalam mendistribusikan beban secara merata. Dalam bangunan ini, terdapat beberapa pelat lantai dengan ukuran berbeda pada setiap petak bangunan.

2.11.1 Desain Pelat Satu Arah

Pada perencanaan pelat satu arah, kebutuhan tulangan dihitung menggunakan metode momen pendekatan sesuai Pasal 6.5.2 SNI 2847:2019. Besarnya momen ditentukan berdasarkan posisi dan kondisi bentang pelat. Setelah momen diperoleh, dilakukan perhitungan rasio tulangan dan luas tulangan rencana, yang kemudian dikontrol terhadap ketentuan luas tulangan minimum pada SNI 2847:2019 Tabel 7.6.1.1. Selanjutnya ditentukan jenis tulangan yang digunakan serta jarak antar tulangan dengan data yang diketahui sebagai berikut :

L = 2500 mm

Tebat pelat = 125 mm

f’c = 25 MPa

F_y tulangan = 420 MPa

Selimut beton = 20 mm

Diameter Tulangan = 10 mm

1. Menentukan Tebal Minimum

Pada bangunan ruko digunakan kondisi tumpuan satu ujung menerus. Berdasarkan SNI 1729:2019 Tabel 7.3.1.1, tebal minimum pelat ditentukan sebesar $L_1/24$. Nilai tabel pelat minimum dapat di lihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2. 14 Tabel Nilai Tebal Pelat Minimum

Kondisi Tumpuan	h minimum
Tumpuan sederhana	l/20
Satu ujung menerus	l/24
Kedua ujung menerus	l/28
Kantilever	l/10

Dengan asumsi tebal pelat (htg) adalah sebesar 125 mm maka mengecek keamanan = l/24 < 125 mm → 104,1667 mm < 125 mm, maka dinyatakan aman.

2. Tinggi Efektif

D_s = H_{tg}-selimut beton-(D tulangan/2)

D_s = 125-20-(10/2)

D_s = 100 mm

3. Beban Terkator

q_{DL} = 5,57 kN/m^2

q_{LL} = 4,79 kN/m^2

q_U = 14,348 kN/m^2

4. Moment Pelat

$M_u = C_m \times q_U \times L_2$

= 1/24 × 14,348 × 2500

= 3,7365 kNm

$$\rho = \frac{0{,}85 f'c}{f_y}\left(1-\sqrt{1-\frac{1-M_u}{1{,}7 f'cbd^2}}\right)$$

$$= \frac{0{,}85 \times 25}{420}\left(1-\sqrt{1-\frac{1-3{,}7365}{1{,}7 \times 1000 \times 100^2}}\right)$$

= 0,00099833

$A_s = \rho \times 1000 \times ds$

= 0,00099833 × 1000 × 100

= 99,83304223 mm^2

As_{min} = 0,002 × b × h

= 0,002 × 1000 × 125

= 250 mm^2

S = $\frac{0,25\,\pi\,d^2 b}{AS}$

= $\frac{0,25\,\pi 10^2 1000}{250}$

= 314,1592 mm

3h = 3 × h

= 3 × 125

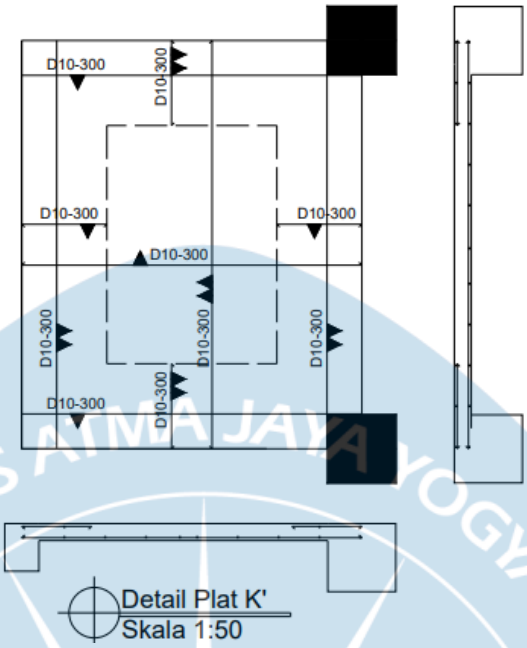
= 375 mm

Karena, S < 3 h → 314,1592 < 375 dibulatkan kebawah menjadi 300 mm **Digunakan D10-300**

Dikarenakan menggunakan perhitungan yang serupa, berikut ini disajikan rekapitulasi hasilnya sebagai Tabel 2.14.

Tabel 2. 15 Rekapitulasi pelat satu arah

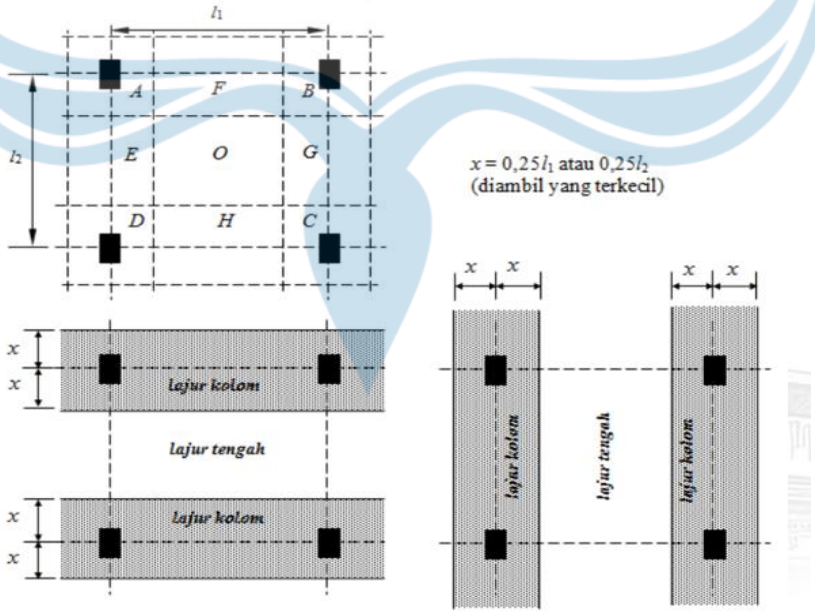
	A	**B**	**C**
	Mu (-)	Mu (+)	Mu (-)
Mu	3,736458333	6,405357143	8,9675
ρ	0,00099833	0,001723908	0,002430745
As	99,83304223	172,390788	243,0744569
As min	250	250	250
S	314,1592654	314,1592654	314,1592654
DIGUNAKAN=	**D10 - 300**	**D10 - 300**	**D10 - 300**



Gambar 2. 21 Detail Pelat Satu Arah

2.11.2 Desain Pelat Dua Arah

Apabila pelat beton ditopang pada keempat sisinya dan memiliki perbandingan antara panjang dan lebar bentang kurang dari dua, maka pelat tersebut tergolong sebagai sistem pelat dua arah seperti pada Gambar 2.22.



Gambar 2. 22 Pelat Dua Arah

1. Data Bangunan

L_x	= 5 m
L_y	= 6 m
b balok	= 300 mm
h balok	= 400 mm
b kolom	= 500 mm
h kolom	= 500 mm
Tebal plat (h)	= 125 mm
f_y tulangan	= 420 Mpa
beton f'c	= 25 Mpa
D tulangan	= 10 mm
Selimut plat	= 20 mm

2. Beban Terkator

q_{DL}	= 5,57 kN/m^2
q_{LL}	= 4,79 kN/m^2
q_U	= 14,348 kN/m^2

3. Momen Statik Total Terfaktor

A. Dalam arah panjang

$M_{01} = \frac{qu\ l_2 l_{n1}2}{8}$ $= \frac{14{,}348 \times 6 \times \left(\frac{5 \times 500}{1000}\right)^2}{8}$

$= 218$ kNm

$M - = 0{,}65 \times M_{01}$ $= 0{,}65 \times 218$

$= 141{,}64$ kNm

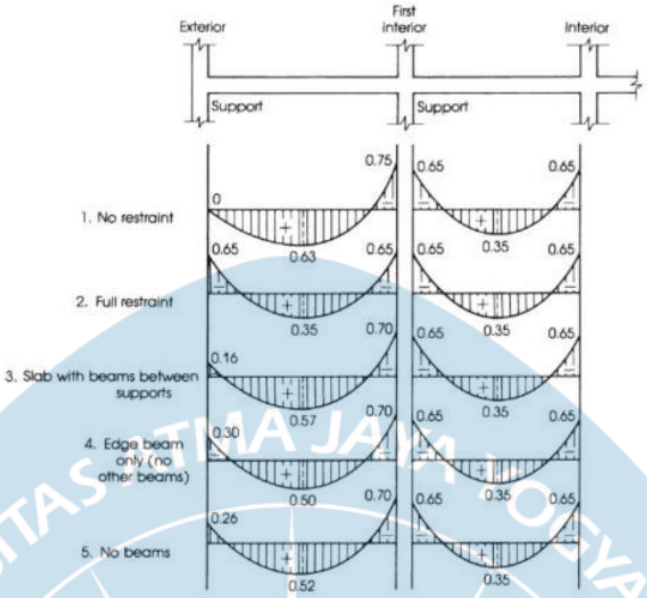
$M + = 0{,}35 \times M_{01}$ $= 0{,}35 \times 56$

$= 76{,}2686$ kNm

L_x/L_y $= \frac{5}{6}$

$= 0{,}8333$

Setelah menentukan hasil dari Mo1, M- dan M+, langkah berikutnya adalah menentukan momen positif dan momen negatif pada kedua penampang tersebut dengan menggunakan faktor pengali yang tercantum dalam Gambar 2.23 di bawah ini.



Gambar 2. 23 Distribusi Momen Statis Total Menjadi Momen rentang Negatif dan Positif

Maka didapatkan rekapitulasi hasil momen statik pada bangunan perpustakaan pada Tabel 2.16 berikut :

Tabel 2. 16 Hasil Momen Statik

	Negatif	Positif
Momen Balok (kNm)	72,23724788	38,89697963
Momen Pelat (kNm)	12,74774963	6,864172875
Jumlah Momen Balok + Pelat (kNm)	84,9849975	45,7611525
Momen Lajur Tengah (kNm)	56,656665	30,507435

B. Dalam arah pendek

$M_{01} = \frac{qu\ l_2 l_{n1} 2}{8}$ $= \frac{14{,}348 \times 5 \times \left(\frac{6 \times 500}{1000}\right)^2}{8}$

$= 271{,}2669$ kNm

$M - = 0{,}65 \times M_{01}$ $= 0{,}65 \times 271{,}2669$

$= 176{,}3235$ kNm

$M + = 0{,}35 \times M_{01}$ $= 0{,}35 \times 271{,}2669$

$= 38{,}1343$ kNm

L_x/L_y $= \frac{5}{6}$

$= 0{,}8333$

Setelah menentukan hasil dari Mo1, M- dan M+, langkah berikutnya adalah menentukan momen positif dan momen negatif pada kedua penampang tersebut dengan menggunakan faktor pengali yang tercantum dalam Tabel 2.16 di bawah ini:

Tabel 2. 17 Hasil Momen Statik

	Negatif	Positif
Momen Balok (kNm)	89,92496906	48,42113719
Momen Pelat (kNm)	15,86911219	8,544906563
Jumlah Momen Balok + Pelat (kNm)	105,7940813	56,96604375
Momen Lajur Tengah (kNm)	70,5293875	37,9773625

Perhitungan tulangan plat

D = tebal pelat − selimut beton − $\left(\frac{D\ tul}{2}\right)$

= 125 − 20 − $\left(\frac{10}{2}\right)$

= 100 mm

M_u(-) = 12,7477 kNm

ρ = $\frac{0{,}85f'c}{f_y}\left(1-\sqrt{1-\frac{1-Mu}{1{,}7f'cbd^2}}\right)$

= $\frac{0{,}85\times25}{420}\left(1-\sqrt{1-\frac{1-12{,}7477}{1{,}7\times1000\times100^2}}\right)$

= 0,003132127

A_s min = 0,002 × b × h

= 0,002 × 300 × 400

= 240 mm^2

A bar = $\frac{22}{7}\times\frac{10^2}{4}$

= 78,5714 mm^2

S = $\frac{0{,}25\,\pi\,d^2b}{AS}$

= $\frac{0{,}25\,\pi10^2 1000}{240}$

= 327,2492 mm

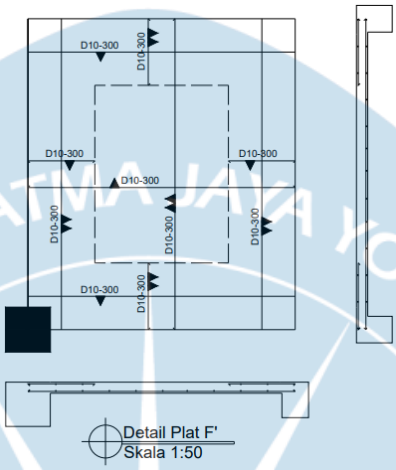
3h = 3 × h

= 3 × 125

= 375 mm

Karena, S < 3 h → 300 < 375 dibulatkan kebawah menjadi 300 mm

Digunakan D10-300



Gambar 2. 24 Detail Pelat Dua Arah

2.13. Perencanaan Balok

Balok memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem struktur bangunan karena berfungsi untuk menyalurkan beban dari pelat lantai menuju kolom, dan selanjutnya diteruskan ke pondasi. Bersama dengan kolom serta pondasi, balok menjadi salah satu elemen utama yang menentukan kekokohan dan kestabilan suatu bangunan. Dalam konstruksi bangunan ini digunakan dua jenis balok, yaitu balok induk dan balok anak, yang masing-masing memiliki ukuran dan fungsi berbeda. Balok anak berukuran lebih kecil karena hanya menyalurkan beban sebagian ke balok induk. Jenis balok yang dipakai adalah balok beton bertulang, yang merupakan pilihan umum dalam konstruksi modern karena kekuatan dan keandalannya, bukan balok komposit yang menggabungkan bahan lain seperti baja.

2.12.1 Perencanaan Balok Anak

Balok anak berperan sebagai elemen penghubung antara dua balok induk dalam suatu sistem struktur bangunan. Dimensinya biasanya lebih kecil dibandingkan dengan balok induk karena fungsinya yang lebih spesifik dalam menyalurkan beban. Kehadiran balok anak membantu mendistribusikan beban

dari pelat lantai menuju balok induk secara lebih merata, sehingga memungkinkan pengurangan ketebalan pelat lantai tanpa mengurangi kekuatan struktur. Dengan demikian, penggunaan balok anak memberikan kontribusi besar terhadap efisiensi desain struktur, karena mampu mengoptimalkan penggunaan material, menurunkan beban yang bekerja pada pelat, serta memastikan pembebanan yang lebih seimbang dan tepat pada balok induk.

A. Perencanaan Balok Anak 1 Rumah Toko

1. Perhitungan Kapasitas Lentur

Data struktur untuk perencanaan Balok Anak 1 dapat dilihat sebagai berikut :

Lebar Balok (b) = 250 mm

Tinggi Balok (h) = 350 mm

D Tulangan Longitudinal, d_b = 19 mm

D Tulangan Pinggang, d_{bt} = 10 mm

D Tulangan Sengkang, d_s = 10 mm

Selimut Bersih, cc = 40 mm

Tinggi Efektif Balok, d = $h - cc - d_s - d_b/2$ = 290,5 mm

fc' = 25 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yv} = 280 MPa

β_1 = 0,65 <= 0,85 – 0,05 × (fc' - 28) / 7

= 0,85

λ = 1

Gaya Dalam Balok Anak 1 :

Mu,tumpuan (-) = -101,0186 kNm (hasil output ETABS)

Mu,tumpuan (+) = 75,1742 kNm (hasil output ETABS)

Mu,lapangan (-) = -76,4811 kNm (hasil output ETABS)

Mu,lapangan (+) = 97,8238 kNm (hasil output ETABS)

2. Penulangan Lentur

Perhitungan Tumpuan Negatif :

Mu,tumpuan (-) = -101,0186 kNm

d_b = 19 mm

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\emptyset \times 0{,}85 \times f'c \times b}}$$

$$a = 290{,}5 - \sqrt{290{,}5^{\,2} - \frac{2 \times 101{,}0186 \times 10^6}{0{,}9 \times 0{,}85 \times 25 \times 250}}$$

$$a = 85{,}2341 \text{ mm}$$

$$A_{s\,perlu} = \frac{M_u}{\emptyset \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{101{,}0186 \times 10^6}{0{,}9 \times 420 \times \left(290{,}5 - \frac{85{,}2341}{2}\right)}$$

$$= 1078{,}1095 \text{ mm}^2$$

Cek terhadap luas tulangan batas ($A_{s\,min}$ dan $A_{s\,max}$)

$$A_{s\,min} = \frac{1{,}4}{f_y} \times b \times d = \frac{1{,}4}{420} \times 250 \times 290{,}5 = 242{,}0833 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\,max} = \frac{0{,}36 \times \beta_1 \times f'c \times b \times d}{420} = \frac{0{,}36 \times 0{,}85 \times 25 \times 250 \times 290{,}5}{420}$$

$$= 1322{,}8125 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s\,perlu}}{\frac{1}{4} \times \pi \times {d_b}^2} = \frac{1056{,}4627}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2} = \frac{1078{,}1095}{283{,}5287} = 3{,}8025 \approx 4 \text{ buah}$$

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

$= \frac{(\,250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 19)}{(4 - 1)}$

$= 24{,}667$ mm

Jumlah Lapis $= 2$

A_s Pasang $= \frac{n \times \pi}{4 \times db2}$

$= \frac{4 \times \pi}{4 \times 19 \times 19}$

$= 1134{,}115 \text{ mm}^2$

A_s min,1 $= \frac{(fc) \times 0.5}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$= \frac{(25) \times 0.5}{(4 \times 420) \times 250 \times 290{,}5}$

$= 216{,}146\ mm^2$

A_s min,2 $= \frac{1{,}4}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$= \frac{1{,}4}{(4 \times 420) \times 250 \times 290{,}5}$

$= 242{,}083\ mm^2$

Cek As min dimana seharusnya As Pasang ≥ As min maka pada perhitungan ini mendapatkan $1134{,}115\ mm^2 \geq 216{,}146\ mm^2$ dan $1134{,}115\ mm^2 \geq 242{,}083\ mm^2$.

a $= \frac{As \times fy}{(0{,}85 \times fc \times b)}$

$= \frac{1134{,}115 \times 420}{(0{,}85 \times 25 \times 250)}$

$= 89{,}662$ mm

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

$= 1134{,}115 \times 420 \times (290{,}5 - \frac{89{,}662}{2})$

$= 117{,}019$ kNm

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

$= \frac{89{,}662}{0.85}$

$= 105{,}484$ mm

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

$= \frac{290{,}5 - 105{,}484}{105{,}484 \times 0{,}003}$

$= 0{,}005$

ϕ $= 0{,}9$

ϕM_n $= \phi \times M_n$

$= 0{,}9 \times 117{,}019$

$= 105{,}317$ kNm

Pengecekan kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil ϕMn dengan absolut Mu,tumpuan (-), yang dimana ϕMn ≥ Mu,tumpuan (-). Pada hasil perhitungan ini di dapatkan 105,317 kNm ≥ 101,0186 kNm. Hal ini menyimpulkan bahwa jumlah tulangan tumpuan atas telah memenuhi yaitu berjumlah 4 buah diameter 19 atau 4D19.

Perhitungan Tumpuan Positif :

Mu,tumpuan (+) = 75,1742 kNm

db = 19 mm

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\emptyset \times 0{,}85 \times f'c \times b}}$$

$$a = 290{,}5 - \sqrt{290{,}5^{\,2} - \frac{2 \times 75{,}1742 \times 10^6}{0{,}9 \times 0{,}85 \times 25 \times 250}}$$

$$a = 60{,}4026 \text{ mm}$$

$$A_{s\,perlu} = \frac{M_u}{\emptyset \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{75{,}1742 \times 10^6}{0{,}9 \times 420 \times \left(290{,}5 - \frac{60{,}4026}{2}\right)}$$

$= 1026{,}6858 \text{ mm}^2$

Cek terhadap luas tulangan batas ($A_{s\,min}$ dan $A_{s\,max}$)

$$A_{s\,min} = \frac{1{,}4}{f_y} \times b \times d = \frac{1{,}4}{420} \times 250 \times 290{,}5 = 242{,}0833 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\,max} = \frac{0{,}36 \times \beta_1 \times f'c \times b \times d}{420} = \frac{0{,}36 \times 0{,}85 \times 25 \times 250 \times 290{,}5}{420}$$

$= 1322{,}8125 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_{s\,perlu}}{\frac{1}{4} \times \pi \times {d_b}^2} = \frac{1056{,}4627}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2} = \frac{1026{,}6858}{283{,}5287} = 3{,}6211 \approx 4 \text{ buah}$$

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

$= \frac{(250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19)}{(3 - 1)}$

$= 46{,}5$ mm

Jumlah Lapis $= 1$

As Pasang $= \frac{n \times \pi}{4 \times db2}$

$= \frac{2 \times \pi}{4 \times 19 \times 19}$

$= 850{,}586 \text{ mm}^2$

As min,1 $= \frac{(fc)\times 0.5}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$= \frac{(25)\times 0.5}{(4 \times 420) \times 250 \times 290,5}$

$= 216,146 \text{ mm}^2$

As min,2 $= \frac{1,4}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 250 \times 290,5}$

$= 242,083 \text{ mm}^2$

Cek As min dimana seharusnya As Pasang ≥ As min maka pada perhitungan ini mendapatkan 850,586 $\text{mm}^2 \geq 216,146 \text{ mm}^2$ dan 850,586 $\text{mm}^2 \geq 242,083 \text{ mm}^2$.

a $= \frac{As \times fy}{(0,85 \times fc \times b)}$

$= \frac{850,586 \times 420}{(0,85 \times 25 \times 250)}$

$= 67,246 \text{ mm}$

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

$= 850,586 \times 420 \times (290,5 - \frac{67,246}{2})$

$= 91,768 \text{ kNm}$

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

$= \frac{67,246}{0,85}$

$= 79,113 \text{ mm}$

εs $= \frac{(d - c)}{c \times 0,003}$

$= \frac{290,5-79,113}{79,113 \times 0,003}$

$= 0,008$

ϕ $= 0,9$

ϕMn $= \phi \times Mn$

$= 0,9 \times 91,768$

$= 82,591 \text{ kNm}$

Pengecekan kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil ϕMn dengan Mu,tumpuan (+), yang dimana ϕMn ≥ Mu,tumpuan (+). Pada hasil perhitungan ini di dapatkan 82,591 kNm ≥ 75,1742 kNm. Hal ini menyimpulkan bahwa jumlah

tulangan tumpuan bawah telah memenuhi yaitu berjumlah 3 buah diameter 19 atau 3D19.

Perhitungan Lapangan Negatif :

Mu,lapangan (-) = -76,4811 kNm

d_b = 19 mm

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\emptyset \times 0{,}85 \times f'c \times b}}$$

$$a = 290{,}5 - \sqrt{290{,}5^{\,2} - \frac{2 \times 76{,}4811 \times 10^6}{0{,}9 \times 0{,}85 \times 25 \times 250}}$$

$$a = 61{,}5936 \text{ mm}$$

$$A_{s\,perlu} = \frac{M_u}{\emptyset \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{76{,}4811 \times 10^6}{0{,}9 \times 420 \times \left(290{,}5 - \frac{61{,}5936}{2}\right)}$$

$= 779{,}0853 \text{ mm}^2$

Cek terhadap luas tulangan batas ($A_{s\,min}$ dan $A_{s\,max}$)

$$A_{s\,min} = \frac{1{,}4}{f_y} \times b \times d = \frac{1{,}4}{420} \times 250 \times 290{,}5 = 242{,}0833 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\,max} = \frac{0{,}36 \times \beta_1 \times f'c \times b \times d}{420} = \frac{0{,}36 \times 0{,}85 \times 25 \times 250 \times 290{,}5}{420}$$

$= 1322{,}8125 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_{s\,perlu}}{\frac{1}{4} \times \pi \times d_b^{\,2}} = \frac{779{,}0853}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2} = \frac{779{,}0853}{283{,}5287} = 2{,}7478 \approx 3 \text{ buah}$$

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

$= \frac{(250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19)}{(3 - 1)}$

$= 46{,}5$ mm

Jumlah Lapis = 1

A_s Pasang $= \frac{n \times \pi}{4 \times db2}$

$= \frac{2 \times \pi}{4 \times 19 \times 19}$

$= 850{,}586 \text{ mm}^2$

A_s min,1 $= \frac{(fc) \times 0.5}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$= \frac{(25) \times 0.5}{(4 \times 420) \times 250 \times 290{,}5}$

$= 216{,}146 \text{ mm}^2$

A_s min,2 $= \frac{1{,}4}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$= \frac{1{,}4}{(4 \times 420) \times 250 \times 290{,}5}$

$= 242{,}083 \text{ mm}^2$

Cek As min dimana seharusnya As Pasang ≥ As min maka pada perhitungan ini mendapatkan 850,586 $\text{mm}^2 \geq$ 216,146 mm^2 dan 850,586 $\text{mm}^2 \geq$ 242,083 mm^2.

a $= \frac{As \times fy}{(0{,}85 \times fc \times b)}$

$= \frac{850{,}586 \times 420}{(0{,}85 \times 25 \times 250)}$

$= 67{,}246 \text{ mm}$

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

$= 850{,}586 \times 420 \times (290{,}5 - \frac{67{,}246}{2})$

$= 91{,}768 \text{ kNm}$

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

$= \frac{67{,}246}{0{,}85}$

$= 79{,}113 \text{ mm}$

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

$= \frac{290{,}5 - 79{,}113}{79{,}113 \times 0{,}003}$

$= 0{,}008$

ϕ $= 0{,}9$

ϕM_n $= \phi \times M_n$

$= 0{,}9 \times 91{,}768$

$= 82{,}591 \text{ kNm}$

Pengecekan kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil ϕMn dengan absolut Mu,lapangan (-), yang dimana ϕMn ≥ Mu,lapangan (-). Pada hasil perhitungan ini di dapatkan 82,591 kNm ≥ 76,4811 kNm. Hal ini menyimpulkan bahwa jumlah tulangan lapangan atas telah memenuhi yaitu berjumlah 3 buah diameter 19 atau 3D19.

Perhitungan Lapangan Positif :

Mu,lapangan (+) = 97,8238 kNm

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\emptyset \times 0{,}85 \times f'c \times b}}$$

$$a = 290{,}5 - \sqrt{290{,}5^{\,2} - \frac{2 \times 97{,}8238 \times 10^6}{0{,}9 \times 0{,}85 \times 25 \times 250}}$$

$$a = 82{,}0042 \text{ mm}$$

$$A_{s\,perlu} = \frac{M_u}{\emptyset \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{97{,}8238 \times 10^6}{0{,}9 \times 420 \times \left(290{,}5 - \frac{82{,}0042}{2}\right)}$$

$= 1037{,}2557 \text{ mm}^2$

Cek terhadap luas tulangan batas ($A_{s\,min}$ dan $A_{s\,max}$)

$$A_{s\,min} = \frac{1{,}4}{f_y} \times b \times d = \frac{1{,}4}{420} \times 250 \times 290{,}5 = 242{,}0833 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\,max} = \frac{0{,}36 \times \beta_1 \times f'c \times b \times d}{420} = \frac{0{,}36 \times 0{,}85 \times 25 \times 250 \times 290{,}5}{420}$$

$= 1322{,}8125 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_{s\,perlu}}{\frac{1}{4} \times \pi \times {d_b}^2} = \frac{1037{,}2557}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2} = \frac{1037{,}2557}{283{,}5287} = 3{,}6584 \approx 4 \text{ buah}$$

d_b = 19 mm

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

$= \frac{(250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 19)}{(4 - 1)}$

= 24,667 mm

Jumlah Lapis = 2

A_s Pasang $= \frac{n \times \pi}{4 \times db2}$

$= \frac{4 \times \pi}{4 \times 19 \times 19}$

$= 1134{,}115\ mm^2$

A_s min,1 $= \frac{(fc) \times 0{,}5}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$= \frac{(25) \times 0{,}5}{(4 \times 420) \times 250 \times 290{,}5}$

$= 216{,}146\ mm^2$

A_s min,2 $= \frac{1{,}4}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$= \frac{1{,}4}{(4 \times 420) \times 250 \times 290{,}5}$

$= 242{,}083\ mm^2$

Cek As min dimana seharusnya As Pasang ≥ As min maka pada perhitungan ini mendapatkan 1134,115 mm^2 ≥ 216,146 mm^2 dan 1134,115 mm^2 ≥ 242,083 mm^2.

a $= \frac{As \times fy}{(0{,}85 \times fc \times b)}$

$= \frac{1134{,}115 \times 420}{(0{,}85 \times 25 \times 250)}$

$= 89{,}662$ mm

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

$= 1134{,}115 \times 420 \times (290{,}5 - \frac{89{,}662}{2})$

$= 117{,}019$ kNm

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

$= \frac{89{,}662}{0{,}85}$

$= 105{,}484$ mm

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

$= \frac{290{,}5 - 105{,}484}{105{,}484 \times 0{,}003}$

$= 0{,}005$

ϕ = 0,9

ϕM_n $= \phi \times M_n$

$= 0{,}9 \times 117{,}019$

$= 105{,}317$ kNm

Pengecekan kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil ϕMn dengan Mu,Lapangan (+), yang dimana ϕMn ≥ Mu,tumpuan (+). Pada hasil perhitungan ini di dapatkan 105,317 kNm ≥ 97,8238 kNm. Hal ini menyimpulkan bahwa jumlah tulangan lapangan bawah telah memenuhi yaitu berjumlah 4 buah diameter 19 atau 4D19.

3. Perhitungan Kapasitas Geser

Data struktur untuk perencanaan Balok Anak 1 dapat dilihat sebagai berikut :

Lebar Balok (b) = 250 mm

Tinggi Balok (h) = 350 mm

D Tulangan Longitudinal, d_b = 19 mm

D Tulangan Pinggang, d_{bt} = 10 mm

D Tulangan Sengkang, d_s = 10 mm

Selimut Bersih, cc = 40 mm

Tinggi Efektif Balok, d = h - cc - ds - db/2 = 290,5 mm

fc' = 25 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yv} = 280 MPa

β_1 = 0,65 <= 0,85 - 0,05 × (fc' - 28) / 7

= 0.85

λ = 1

Gaya Dalam Balok Anak 1 :

V_u, tumpuan = 75,8536 kN (hasil output ETABS)

V_u, lapangan = 71,4123 kN (hasil output ETABS)

Perhitungan Tumpuan :

Jumlah Kaki, n = 2 buah (asumsi)

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

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

$= 157{,}080\ mm^2$

Spasi, s $= 100$ mm (asumsi)

Batas Penentu Spasi Max $= 0{,}33 \times (fc')^{0,5} \times b \times d$

$= 0{,}33 \times (25)^{0,5} \times 250 \times 290{,}5$

$= 119831{,}25$ N

Spasi Max 1 $= \frac{d}{2}$

$= \frac{290{,}5}{2}$

$= 145{,}25$ mm

Spasi Max 2 $= 600$ mm

Pengecekan spasi mengharuskan nilai Spasi ≤ Spasi Max 1 dan Spasi Max 2, pada perhitungan ini mendapatkan 100 mm ≤ 145,25 mm dan 100 mm ≤ 600 mm, dapat disimpulkan bahwa spasi telah memenuhi.

Luas per Spasi $= \frac{Av}{Spasi}$

$= \frac{157{,}080}{100}$

$= 1{,}571\ mm^2$

Luas per Spasi Min 1 $= \frac{0{,}062 \times (fc)^{0,5} \times b}{fyv}$

$= \frac{0{,}062 \times (25)^{0,5} \times 250}{280}$

$= 0{,}277\ mm^2$

Luas per Spasi Min 2 $= \frac{0{,}35 \times b}{fyv}$

$= \frac{0{,}35 \times 250}{280}$

$= 0{,}313\ mm^2$

Pengecekan luas per spasi mewajibkan nilai Luas per Spasi ≥ Luas per Spasi Min 1 dan Luas per Spasi Min 2. Untuk nilai pada perhitungan ini didapatkan $1{,}571\ mm^2 \geq 0{,}277\ mm^2$ dan $1{,}571\ mm^2 \geq 0{,}313\ mm^2$. Maka dapat disimpulkan bahwa Luas per Spasi telah memenuhi.

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

$= 157{,}080 \times 280 \times \frac{290{,}5}{100}$

$= 127769$ N

Batas V_s $= 0{,}66 \times (fc')^{0{,}5} \times b \times d$

$= 0{,}66 \times (25)^{0{,}5} \times 250 \times 290{,}5$

$= 239663$ N

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

$= 0{,}17 \times (25)^{0{,}5} \times 250 \times 290{,}5$

$= 61731$ N

Φ $= 0{,}75$

V_n $= V_c + V_s$

$= 61731 + 127769$

$= 189500$ N

V_u $= V_u$ tumpuan $\times 1000$

$= 75{,}8536 \times 1000$

$= 75854$ N

Cek Kapasitas $= \frac{\phi \times Vn}{Vu}$

$= \frac{0{,}75 \times 189500}{75854}$

$= 1{,}874$

Hasil pengecekan kapasitas tumpuan geser mendapatkan nilai 1,874 yang mana telah memenuhi persyaratan kapasitas tumpuan geser yaitu $\frac{\phi \times Vn}{Vu} \geq 1$.

Perhitungan Lapangan :

Jumlah Kaki, n $= 2$ buah (asumsi)

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

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

$= 157{,}080$ mm^2

Spasi, s $= 100$ mm (asumsi)

Batas Penentu Spasi Max $= 0{,}33 \times (fc')^{0{,}5} \times b \times d$

$= 0{,}33 \times (25)^{0{,}5} \times 250 \times 290{,}5$

$= 119831{,}25$ N

Spasi Max 1 $= \frac{d}{2}$

$= \frac{290{,}5}{2}$

= 145,25 mm

Spasi Max 2 = 600 mm

Pengecekan spasi mengharuskan nilai Spasi ≤ Spasi Max 1 dan Spasi Max 2, pada perhitungan ini mendapatkan 100 mm ≤ 145,25 mm dan 100 mm ≤ 600 mm, dapat disimpulkan bahwa spasi telah memenuhi.

Luas per Spasi $= \frac{\text{Av}}{\text{Spasi}}$

$= \frac{157{,}080}{100}$

$= 1{,}571\ \text{mm}^2$

Luas per Spasi Min 1 $= \frac{0{,}062 \times (fc)^{0{,}5} \times \text{b}}{fyv}$

$= \frac{0{,}062 \times (25)^{0{,}5} \times 250}{280}$

$= 0{,}277\ \text{mm}^2$

Luas per Spasi Min 2 $= \frac{0{,}35 \times \text{b}}{fyv}$

$= \frac{0{,}35 \times 250}{280}$

$= 0{,}313\ \text{mm}^2$

Pengecekan luas per spasi mewajibkan nilai Luas per Spasi ≥ Luas per Spasi Min 1 dan Luas per Spasi Min 2. Untuk nilai pada perhitungan ini didapatkan $1{,}571\ \text{mm}^2 \geq 0{,}277\ \text{mm}^2$ dan $1{,}571\ \text{mm}^2 \geq 0{,}313\ \text{mm}^2$. Maka dapat disimpulkan bahwa Luas per Spasi telah memenuhi.

Vs $= \text{Av} \times \text{fyv} \times \frac{\text{d}}{\text{s}}$

$= 157{,}080 \times 280 \times \frac{290{,}5}{100}$

$= 127769\ \text{N}$

Batas Vs $= 0{,}66 \times (\text{fc}')^{0{,}5} \times \text{b} \times \text{d}$

$= 0{,}66 \times (25)^{0{,}5} \times 250 \times 290{,}5$

$= 239663\ \text{N}$

Vc $= 0{,}17 \times (\text{fc}')^{0{,}5} \times \text{b} \times \text{d}$

$= 0{,}17 \times (25)^{0{,}5} \times 250 \times 290{,}5$

$= 61731\ \text{N}$

Φ $= 0{,}75$

Vn $= \text{Vc} + \text{Vs}$

= 61731 + 127769

= 189500 N

Vu = Vu tumpuan × 1000

= 71,4123 × 1000

= 71412,3 N

Cek Kapasitas $= \frac{\phi \times Vn}{Vu}$

$= \frac{0,75 \times 189500}{71412,3}$

= 1,990

Hasil pengecekan kapasitas tumpuan geser mendapatkan nilai 1,990 yang mana telah memenuhi persyaratan kapasitas tumpuan geser yaitu $\frac{\phi \times Vn}{Vu} \geq 1$ atau 1,990 ≥ 1.

4. Perhitungan Kapasitas Torsi

Data struktur untuk perencanaan Balok Anak 1 dapat dilihat sebagai berikut :

Lebar Balok (b) = 250 mm

Tinggi Balok (h) = 350 mm

D Tulangan Longitudinal, d_b = 19 mm

D Tulangan Pinggang, d_{bt} = 10 mm

D Tulangan Sengkang, d_s = 10 mm

Selimut Bersih, cc = 40 mm

Tinggi Efektif Balok, d = h - cc - d_s - d_b/2 = 290,5 mm

fc' = 25 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yv} = 280 MPa

β_1 = 0,65 ≤ 0,85 – 0,05 × (fc' - 28) / 7

= 0,85

Parameter Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi :

A_{cp} = b × h

= 250 × 350

= 87500 mm^2

P_{cp} = 2 × (b + h)

$= 2 \times (250 + 350)$

$= 1200$ mm

X_o $= b - 2 \times cc - d_s$

$= 250 - 2 \times 40 - 10$

$= 160$ mm

Y_o $= h - 2 \times cc - d_s$

$= 350 - 2 \times 40 - 10$

$= 260$ mm

A_{oh} $= X_o \times Y_o$

$= 160 \times 360$

$= 41600$ mm^2

A_o $= 0{,}85 \times A_{oh}$

$= 0{,}85 \times 41600$

$= 35360$ mm^2

P_h $= 2 \times (X_o + Y_o)$

$= 2 \times (160 + 360)$

$= 840$ mm

Gaya Dalam Balok Anak 1 :

T_u $= 20{,}1578$ kNm

Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi :

T_{cr} $= \frac{0{,}33 \times (fc)^{0{,}5} \times Acp^2}{Pcp}$

$= \frac{0{,}33 \times (25)^{0{,}5} \times 87500^2}{1200}$

$= 10527344$ Nmm

Φ $= 0{,}75$

$\phi\, T_{cr} / 4$ $= \frac{\phi \times T_{cr}}{4}$

$= \frac{0{,}75 \times 10527344}{4}$

$= 1973877$ Nmm

Pengecekan kebutuhan tulangan torsi dilihat dari nilai Tu dan $\frac{\phi \times T_{cr}}{4}$. Jika nilai Tu $\geq$ $\frac{\phi \times T_{cr}}{4}$ maka membutuhkan tulangan torsi. Pada perhitungan ini

mendapatkan hasil 20,1578 × 10^6 Nmm ≥ 1973877 Nmm (Nilai Tu dikonversi dari kNm ke Nmm). Maka balok anak 1 membutuhkan tulangan torsi.

Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang :

T_u use = Φ × T_{cr}

= 0,75 × 10527344

= 7895508 Nmm

V_u, tumpuan = 75,8536 kNm

= 75854 N

V_c = 0,17 × (fc') ^{0,5} × b × d

= 0,17 × (25') ^{0,5} × 250 × 290,5

= 61731 N

Teg. Ult. Geser+Torsi $= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1{,}7 \times Aoh^2}\right)^2}$

$= \sqrt{\left(\frac{75854}{250 \times 290{,}5}\right)^2 + \left(\frac{7895508 \times 840}{1{,}7 \times 41600^2}\right)^2}$

= 2,485 MPa

Kapasitas Teg. Beton $= \Phi \times \left(\frac{v_c}{b \times d} + 0{,}66 \times \sqrt{fc}\right)$

$= 0{,}75 \times \left(\frac{61731}{250 \times 290{,}5} + 0{,}66 \times \sqrt{25}\right)$

= 3,113 MPa

Pengecekan dimensi penampang harus membandingkan nilai Teg. Ult. Geser + Torsi dan Cek Dimensi Penampang. Dimana nilai Teg. Ult. Geser + Torsi ≤ Cek Dimensi Penampang. Pada perhitungan diatas telah didapatkan perbandingannya yaitu 2,485 MPa ≤ 3,113 MPa, dapat disimpulkan bahwan dimensi penampang memenuhi.

Penulangan Transversal Torsi :

Kaki Tumpuan, n	= 2 buah	(hasil pada kapasitas geser)
Kaki Lapangan, n	= 2 buah	(hasil pada kapasitas geser)
Spasi Tumpuan	= 100 mm	(hasil pada kapasitas geser)
Spasi Lapangan	= 100 mm	(hasil pada kapasitas geser)
Spasi Max 1	$= \frac{Ph}{8}$	

$= \frac{840}{8}$

= 105 mm

Spasi Max 2 = 300 mm

Nilai Spasi tumpuan dan lapangan dicek dengan membandingkan Spasi Tumpuan ≤ Spasi Max 1 dan Spasi Lapangan ≤ Spasi Max 1. Pada perhitungan kita mendapatkan hasil 100 ≤ 105 dan 100 ≤ 105. Hasil ini telah cukup untuk memenuhi nilai spasi.

A_v + t / S Tum. Pasang $= n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{ds^2}{s}$

$= 2 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{10^2}{100}$

= 1,571 mm^2

A_v + t / S Lap. Pasang $= n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{ds^2}{s}$

$= 2 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{10^2}{100}$

= 1,571 mm^2

A_t /s $= \frac{Tu}{(2 \times \Phi \times A_o \times f_{yv})}$

$= \frac{7895508}{(2 \times 0{,}75 \times 35360 \times 280)}$

= 0,532 mm^2

A_v / s Tumpuan Perlu $= \frac{\frac{V_u \text{ tumpuan}}{\Phi} - V_c}{f_{yv} \times d}$

$= \frac{\frac{75854.}{0{,}75} - 61731}{480 \times 290{,}5}$

= 0,484 mm^2

A_v / s Lapangan Perlu $= \frac{\frac{V_u \text{ lapangan}}{\Phi} - V_c}{f_{yv} \times d}$

$= \frac{\frac{71412{,}3.}{0{,}75} - 61731}{480 \times 290{,}5}$

= 0,412 mm^2

A_{v+t}/ s Tum. Perlu $= 2 \times \frac{A_t}{s} + \frac{A_V}{s}$

$= 2 \times 0{,}532 + 0{,}484$

= 1,548

A_{v+t}/ s Lap. Perlu $= 2 \times \frac{A_t}{s} + \frac{A_V}{s}$

$= 2 \times 0{,}532 + 0{,}412$

$= 1{,}475$

A_{v+t}/ s min 1 $= 0{,}062 \times (fc')^{0{,}5} \times \frac{b}{f_{yv}}$

$= 0{,}062 \times (25)^{0{,}5} \times \frac{250}{280}$

$= 0{,}277$

A_{v+t} / s min 2 $= 0{,}35 \times \frac{b}{f_{yv}}$

$= 0{,}35 \times \frac{250}{280}$

$= 0{,}313$

Pengecekan geser + torsi dilakukan dengan membandingkan nilai (Av + t / S Tum. Pasang, Av + t / S Lap. Pasang) ≥ (Av+t/ s Tum. Perlu, Av+t/ s Lap. Perlu) dan (Av+t/ s min 1, Av+t / s min 2). Pada perhitungan ini kita mendapatkan hasil untuk tumpuan 1,571 ≥ 1,548 dan 0,277. Untuk lapangan didapatkan 1,571 ≥ 1,475 dan 0,313.

Penulangan Longitudinal Torsi :

d_b atau d_{bt} = 10 mm

d_b, min $= 0{,}042 \times$ Spasi

$= 0{,}042 \times 100$

$= 4{,}2$ mm

A_s Perlu Tump. Atas = 979,042 mm^2 (hasil pada kapasitas geser)

A_s Perlu Tump. Bawah = 696,778 mm^2 (hasil pada kapasitas geser)

A_s Perlu Lap. Atas = 708,892 mm^2 (hasil pada kapasitas geser)

A_s Perlu Lap. Bawah = 948,079 mm^2 (hasil pada kapasitas geser)

$A_l = \frac{At}{s} \times P_h$

$= 0{,}532 \times 840$

$= 446{,}578$ mm^2

A_l min $= 0{,}42 \times \sqrt{fc} \times \frac{A_{cp}}{fy} - \frac{A_t}{s} \times P_h$

$= 0{,}42 \times \sqrt{25} \times \frac{87500}{420} - 0{,}532 \times 840$

$= 9{,}078$ mm^2

$A_s + A_l$ Perlu Tump. = A_s Perlu Tump. Atas dan Bawah + A_l

= 979,042 + 696,778 + 446,578

= 2122,399 mm^2

As + Al Perlu Lapangan = A_s Perlu Lapangan Atas dan Bawah + A_l

= 708,892 + 948,079 + 446,578

= 2103,550 mm^2

Tumpuan Atas, n = 4 buah

Tumpuan Tengah, n = 2 buah

Tumpuan Bawah, n = 3 buah

Lapangan Atas, n = 3 buah

Lapangan Tengah, n = 2 buah

Lapangan Bawah, n = 4 buah

Spasi Horizontal Tump. $= \frac{b - 2 \times cc - 2 \times ds - db}{n\ bawah - 1}$

$= \frac{250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 19}{3 - 1}$

= 66 mm

Spasi Horizontal Lap. $= \frac{b - 2 \times cc - 2 \times ds - db}{n\ atas - 1}$

$= \frac{250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 19}{3 - 1}$

= 66 mm

Pengecekan Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan dapat dilihat dari perbandingan nilai Spasi horizontal dengan nilai Spasi max 2. Dimana nilai spasi harus, Spasi horizontal ≤ Spasi Max 2. Dari perhitungan dapat dilihat bahwa nilai spasi horizontal lebih kecil dari nilai spasi max 2 yaitu 66 mm ≤ 300 mm.

Untuk Pengecekan Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan juga memiliki nilai yang sama dengan Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan yaitu 66 mm ≤ 300 mm.

As + Al Pasang Tump. $= \frac{\pi}{4} \times \{(n\ atas + n\ bawah) \times db^2 n\ tengah \times dbt\}$

$= \frac{\pi}{4} \times \{(4 + 3) \times 19^2 + 2\ \times 10\}$

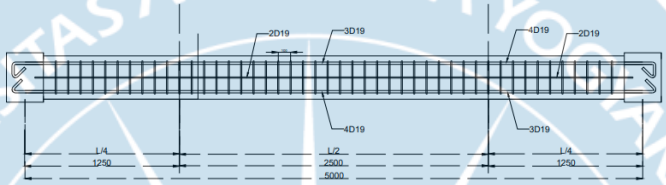
= 2141,781 mm^2

As + Al Pasang Lap. $= \frac{\pi}{4} \times \{(n\ atas + n\ bawah) \times db^2 n\ tengah \times dbt\}$

$= \frac{\pi}{4} \times \{(3 + 4) \times 19^2 + 2\ \times 10\}$

= 2141,781 mm^2

Pengecekan Lentur + Torsi Tumpuan dilihat dari nilai harus memenuhi As + Al Pasang ≥ As + Al Perlu. Pada perhitungan ini mendapatkan nilai 2141,781 mm^2 ≥ 2122,399 mm^2. Maka sengkang yang digunakan untuk tumpuan berjumlah 2, berdiameter 10 mm dan spasi 100 mm yaitu 2D10-100. Untuk Pengecekan Lentur + Torsi Lapangan dilihat dari nilai harus memenuhi As + Al Pasang ≥ As + Al Perlu. Telah didapatkan nilai perhitungan yaitu 2141,781 mm^2 ≥ 2103,550 mm^2. Maka sengkang yang digunakan untuk lapangan adalah 2D10-100. Detail balok anak 1 dapat di lihat pada Gambar 2.25.



Dimensi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
BA1 250 x 350			
Tul. Atas	4D19	3D19	4D19
Tul. Bawah	3D19	4D19	3D19
Tul. Torsi	2D10	2D10	2D10
Sengkang	2D10-100	2D10-100	2D10-100

Detail BA1
Skala 1:25

Gambar 2. 25 Detail Balok Anak 1

B. Perencanaan Balok Anak 2 Rumah Toko

1. Perhitungan Kapasitas Lentur

Data struktur untuk perencanaan Balok Anak 1 dapat dilihat sebagai berikut :

Lebar Balok (b) = 250 mm

Tinggi Balok (h) = 300 mm

D Tulangan Longitudinal, db = 19 mm

D Tulangan Pinggang, dbt = 19 mm

D Tulangan Sengkang, ds = 10 mm

Selimut Bersih, c_c = 40 mm

Tinggi Efektif Balok, d = h - cc - ds - $d_b/2$ = 240,5 mm

fc' = 25 MPa

fy = 420 MPa

fyv = 280 MPa

β1 = 0,65 ≤ 0,85 – 0,05 x (fc' - 28) / 7

= 0,85

λ = 1

Gaya Dalam Balok Anak 1 :

Mu,tumpuan (-) = -68,9191 kNm (hasil output ETABS)

Mu,tumpuan (+) = 70,5037 kNm (hasil output ETABS)

Mu,lapangan (-) = -60,8339 kNm (hasil output ETABS)

Mu,lapangan (+) = 72,5223 kNm (hasil output ETABS)

2. Penulangan Lentur

Perhitungan Tumpuan Negatif :

Jumlah Tulangan, n = 5 buah (asumsi)

d_b = 19 mm

Jarak Bersih Antar Tul. $= \frac{(b - 2 \times cc - 2 \times d_s - n \times d_b)}{(n - 1)}$

$= \frac{(250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 19)}{(5 - 1)}$

= 13,750 mm

Jumlah Lapis = 2

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

$= \frac{5 \times \pi}{4 \times 19 \times 19}$

= 1417,644 mm^2

A_s min,1 $= \frac{(fc) \times 0.5}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$= \frac{(25) \times 0.5}{(4 \times 420) \times 250 \times 240,5}$

= 178,943 mm^2

A_s min,2 $= \frac{1,4}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 250 \times 240,5}$

= 200,417 mm^2

Cek As min dimana seharusnya As Pasang ≥ As min maka pada perhitungan ini mendapatkan 1417,644 mm^2 ≥ 178,943 mm^2 dan 1417,644 mm^2 ≥ 200,417 mm^2.

a $= \frac{As \times fy}{(0{,}85 \times fc \times b)}$

$= \frac{1417{,}644 \times 420}{(0{,}85 \times 25 \times 250)}$

$= 112{,}077$ mm

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

$= 1417{,}644 \times 420 \times (240{,}5 - \frac{112{,}077}{2})$

$= 109{,}830$ kNm

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

$= \frac{112{,}077}{0{,}85}$

$= 131{,}856$ mm

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

$= \frac{240{,}5 - 131{,}856}{131{,}856 \times 0{,}003}$

$= 0{,}002$

ϕ $= 0{,}689$

ϕM_n $= \phi \times Mn$

$= 0{,}689 \times 109{,}830$

$= 75{,}709$ kNm

Pengecekan kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil ϕMn dengan absolut Mu,tumpuan (-), yang dimana ϕMn ≥ Mu,tumpuan (-). Pada hasil perhitungan ini di dapatkan 75,709 kNm ≥ 68,9191 kNm. Hal ini menyimpulkan bahwa jumlah tulangan tumpuan atas telah memenuhi yaitu berjumlah 5 buah diameter 19 atau 5D19.

Perhitungan Tumpuan Positif :

Jumlah Tulangan, n $= 4$ buah (asumsi)

d_b $= 19$ mm

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

$= \frac{(250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 19)}{(4 - 1)}$

$= 24{,}667$ mm

Jumlah Lapis = 2

A_s Pasang = $\frac{n \times \pi}{4 \times db2}$

= $\frac{4 \times \pi}{4 \times 19 \times 19}$

= 1134,115 mm^2

A_s min,1 = $\frac{(fc) \times 0.5}{(4 \times fy) \times b \times d}$

= $\frac{(25) \times 0.5}{(4 \times 420) \times 250 \times 240,5}$

= 178,943 mm^2

A_s min,2 = $\frac{1,4}{(4 \times fy) \times b \times d}$

= $\frac{1,4}{(4 \times 420) \times 250 \times 240,5}$

= 200,417 mm^2

Cek As min dimana seharusnya As Pasang ≥ As min maka pada perhitungan ini mendapatkan 1134,115 mm^2 ≥ 178,943 mm^2 dan 1134,115 mm^2 ≥ 200,417 mm^2.

a = $\frac{As \times fy}{(0,85 \times fc \times b)}$

= $\frac{1134,115 \times 420}{(0,85 \times 25 \times 250)}$

= 89,662 mm

M_n = As × fy × (d - $\frac{a}{2}$)

= 1134,115 × 420 × (240,5 - $\frac{89,662}{2}$)

= 93,203 kNm

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

= $\frac{89,662}{0,85}$

= 105,484 mm

εs = $\frac{(d - c)}{c \times 03}$

= $\frac{240,5-105,484}{105,484 \times 0,003}$

= 0,004

ϕ = 0,803

ϕM_n = ϕ × M_n

$$= 0{,}803 \times 93{,}203$$

$$= 74{,}872 \text{ kNm}$$

Pengecekan kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil ϕMn dengan Mu,tumpuan (+), yang dimana ϕMn ≥ Mu,tumpuan (+). Pada hasil perhitungan ini di dapatkan 74,872 kNm ≥ 70,504 kNm. Hal ini menyimpulkan bahwa jumlah tulangan tumpuan bawah telah memenuhi yaitu berjumlah 4 buah diameter 19 atau 4D19.

Perhitungan Lapangan Negatif :

Jumlah Tulangan, n = 3 buah (asumsi)

d_b = 19 mm

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

$$= \frac{(250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19)}{(3 - 1)}$$

$$= 46{,}5 \text{ mm}$$

Jumlah Lapis = 1

A_s Pasang $= \frac{n \times \pi}{4 \times db2}$

$$= \frac{3 \times \pi}{4 \times 19 \times 19}$$

$$= 850{,}586 \text{ mm}^2$$

A_s min,1 $= \frac{(fc) \times 0.5}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$$= \frac{(25) \times 0.5}{(4 \times 420) \times 250 \times 240{,}5}$$

$$= 178{,}943 \text{ mm}^2$$

A_s min,2 $= \frac{1{,}4}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$$= \frac{1{,}4}{(4 \times 420) \times 250 \times 240{,}5}$$

$$= 200{,}417 \text{ mm}^2$$

Cek As min dimana seharusnya As Pasang ≥ As min maka pada perhitungan ini mendapatkan 850,586 mm^2 ≥ 178,943 mm^2 dan 850,586 mm^2 ≥ 200,417 mm^2.

a $= \frac{As \times fy}{(0{,}85 \times fc \times b)}$

$$= \frac{850{,}586 \times 420}{(0{,}85 \times 25 \times 250)}$$

$$= 67{,}246 \text{ mm}$$

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

$= 850{,}586 \times 420 \times (240{,}5 - \frac{67{,}246}{2})$

$= 73{,}906$ kNm

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

$= \frac{67{,}246}{0{,}85}$

$= 79{,}113$ mm

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

$= \frac{240{,}5 - 79{,}113}{79{,}113 \times 0{,}003}$

$= 0{,}006$

ϕ $= 0{,}9$

ϕM_n $= \phi \times M_n$

$= 0{,}9 \times 73{,}906$

$= 66{,}515$ kNm

Pengecekan kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil ϕMn dengan absolut Mu,lapangan (-), yang dimana ϕMn ≥ Mu,lapangan (-). Pada hasil perhitungan ini di dapatkan 66,515 kNm ≥ 60,834 kNm. Hal ini menyimpulkan bahwa jumlah tulangan lapangan atas telah memenuhi yaitu berjumlah 3 buah diameter 19 atau 3D19.

Perhitungan Lapangan Positif :

Jumlah Tulangan, n $= 4$ buah (asumsi)

d_b $= 19$ mm

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

$= \frac{(250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 19)}{(4 - 1)}$

$= 24{,}667$ mm

Jumlah Lapis $= 2$

As Pasang $= \frac{n \times \pi}{4 \times db2}$

$= \frac{4 \times \pi}{4 \times 19 \times 19}$

$= 1134{,}115$ mm^2

As min,1 $= \frac{(fc)\times 0.5}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$= \frac{(25)\times 0.5}{(4 \times 420) \times 250 \times 240,5}$

$= 178,943 \text{ mm}^2$

As min,2 $= \frac{1,4}{(4 \times fy) \times b \times d}$

$= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 250 \times 240,5}$

$= 200,417 \text{ mm}^2$

Cek As min dimana seharusnya As Pasang ≥ As min maka pada perhitungan ini mendapatkan 1134,115 mm^2 ≥ 178,943 mm^2 dan 1134,115 mm^2 ≥ 200,417 mm^2.

a $= \frac{As \times fy}{(0,85 \times fc \times b)}$

$= \frac{1134,115 \times 420}{(0,85 \times 25 \times 250)}$

$= 89,662 \text{ mm}$

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

$= 1134,115 \times 420 \times (240,5 - \frac{89,662}{2})$

$= 93,203 \text{ kNm}$

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

$= \frac{89,662}{0,85}$

$= 105,484 \text{ mm}$

εs $= \frac{(d - c)}{c \times 0,003}$

$= \frac{240,5-105,484}{105,484 \times 0,003}$

$= 0,004$

ϕ $= 0,803$

ϕMn $= \phi \times Mn$

$= 0,803 \times 93,203$

$= 74,872 \text{ kNm}$

Pengecekan kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil ϕMn dengan Mu,Lapangan (+), yang dimana ϕMn ≥ Mu,tumpuan (+). Pada hasil perhitungan ini di dapatkan 74,872 kNm ≥ 72,522 kNm. Hal ini menyimpulkan bahwa jumlah

tulangan lapangan bawah telah memenuhi yaitu berjumlah 4 buah diameter 19 atau 4D19.

3. Perhitungan Kapasitas Geser

Data struktur untuk perencanaan Balok Anak 2 dapat dilihat sebagai berikut :

Lebar Balok (b) = 250 mm

Tinggi Balok (h) = 300 mm

D Tulangan Longitudinal, db = 19 mm

D Tulangan Pinggang, dbt = 19 mm

D Tulangan Sengkang, ds = 10 mm

Selimut Bersih, cc = 40 mm

Tinggi Efektif Balok, d = h - cc - ds - db/2 = 240,5 mm

fc' = 25 MPa

fy = 420 MPa

fyv = 280 MPa

$\beta 1$ = $0,65 \leq 0,85 - 0,05 \times (fc' - 28) / 7$

= 0,85

λ = 1

Gaya Dalam Balok Anak 2 :

Vu, tumpuan = 72,6559 kN (hasil output ETABS)

Vu, lapangan = 68,9849 kN (hasil output ETABS)

Perhitungan Tumpuan :

Jumlah Kaki, n = 2 buah (asumsi)

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

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

$= 157,080 \text{ mm}^2$

Spasi, s = 80 mm (asumsi)

Batas Penentu Spasi Max $= 0,33 \times (fc')^{0,5} \times b \times d$

$= 0,33 \times (25)^{0,5} \times 250 \times 240,5$

= 99206,25 N

Spasi Max 1 $= \frac{d}{2}$

$= \frac{240,5}{2}$

$= 120,25$ mm

Spasi Max 2 $= 600$ mm

Pengecekan spasi mengharuskan nilai Spasi ≤ Spasi Max 1 dan Spasi Max 2, pada perhitungan ini mendapatkan 80 mm ≤ 120,25 mm dan 80 mm ≤ 600 mm, dapat disimpulkan bahwa Spasi telah memenuhi.

Luas per Spasi $= \frac{Av}{Spasi}$

$= \frac{157,080}{80}$

$= 1,963$ mm^2

Luas per Spasi Min 1 $= \frac{0,062 \times (fc)^{0,5} \times b}{fyv}$

$= \frac{0,062 \times (25)^{0,5} \times 250}{280}$

$= 0,277$ mm^2

Luas per Spasi Min 2 $= \frac{0,35 \times b}{fyv}$

$= \frac{0,35 \times 250}{280}$

$= 0,313$ mm^2

Pengecekan luas per spasi mewajibkan nilai Luas per Spasi ≥ Luas per Spasi Min 1 dan Luas per Spasi Min 2. Untuk nilai pada perhitungan ini didapatkan 1,963 mm^2 ≥ 0,277 mm^2 dan 1,963 mm^2 ≥ 0,313 mm^2. Maka dapat disimpulkan bahwa Luas per Spasi telah memenuhi.

$V_s = Av \times fyv \times \frac{d}{s}$

$= 157,080 \times 280 \times \frac{240,5}{100}$

$= 132222$ N

Batas $V_s = 0,66 \times (fc')^{0,5} \times b \times d$

$= 0,66 \times (25)^{0,5} \times 250 \times 240,5$

$= 198413$ N

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

$= 0,17 \times (25)^{0,5} \times 250 \times 240,5$

= 51106 N

Φ = 0,75

V_n = $V_c + V_s$

= 61731 + 127769

= 189500 N

V_u = V_u tumpuan × 1000

= 72,6559 × 1000

= 72656 N

Cek Kapasitas $= \frac{\phi \times Vn}{Vu}$

$= \frac{0,75 \times 189500}{72656}$

= 1,892

Hasil pengecekan kapasitas tumpuan geser mendapatkan nilai 1,892 yang mana telah memenuhi persyaratan kapasitas tumpuan geser yaitu $\frac{\phi \times Vn}{Vu} \geq 1$.

Perhitungan Lapangan :

Jumlah Kaki, n = 2 buah (asumsi)

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

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

= 157,080 mm^2

Spasi, s = 80 mm (asumsi)

Batas Penentu Spasi Max = $0,33 \times (fc')^{0,5} \times b \times d$

$= 0,33 \times (25)^{0,5} \times 250 \times 240,5$

= 99206,25 N

Spasi Max 1 $= \frac{d}{2}$

$= \frac{240,5}{2}$

= 120,25 mm

Spasi Max 2 = 600 mm

Pengecekan spasi mengharuskan nilai Spasi ≤ Spasi Max 1 dan Spasi Max 2, pada perhitungan ini mendapatkan 80 mm ≤ 120,25 mm dan 80 mm ≤ 600 mm, dapat disimpulkan bahwa Spasi telah memenuhi.

Luas per Spasi $= \frac{Av}{Spasi}$

$= \frac{157,080}{80}$

$= 1,963 \text{ mm}^2$

Luas per Spasi Min 1 $= \frac{0,062 \times (fc)^{0,5} \times b}{fyv}$

$= \frac{0,062 \times (25)^{0,5} \times 250}{280}$

$= 0,277 \text{ mm}^2$

Luas per Spasi Min 2 $= \frac{0,35 \times b}{fyv}$

$= \frac{0,35 \times 250}{280}$

$= 0,313 \text{ mm}^2$

Pengecekan luas per spasi mewajibkan nilai Luas per Spasi ≥ Luas per Spasi Min 1 dan Luas per Spasi Min 2. Untuk nilai pada perhitungan ini didapatkan $1,963 \text{ mm}^2 \geq 0,277 \text{ mm}^2$ dan $1,963 \text{ mm}^2 \geq 0,313 \text{ mm}^2$. Maka dapat disimpulkan bahwa Luas per Spasi telah memenuhi.

V_s $= Av \times fyv \times \frac{d}{s}$

$= 157,080 \times 280 \times \frac{240,5}{100}$

$= 132222 \text{ N}$

Batas V_s $= 0,66 \times (fc')^{0,5} \times b \times d$

$= 0,66 \times (25)^{0,5} \times 250 \times 240,5$

$= 198413 \text{ N}$

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

$= 0,17 \times (25)^{0,5} \times 250 \times 240,5$

$= 51106 \text{ N}$

Φ $= 0,75$

V_n $= V_c + V_s$

$= 51106 + 132222$

$= 183328 \text{ N}$

V_u $= \text{Vu tumpuan} \times 1000$

$= 68,9849 \times 1000$

$= 68984,9 \text{ N}$

Cek Kapasitas $= \frac{\phi \times Vn}{Vu}$

$$= \frac{0{,}75 \times 183328}{68984{,}9}$$

$$= 1{,}993$$

Hasil pengecekan kapasitas tumpuan geser mendapatkan nilai 1,993 yang mana telah memenuhi persyaratan kapasitas tumpuan geser yaitu $\frac{\phi \times Vn}{Vu} \geq 1$.

4. Perhitungan Kapasitas Torsi

Data struktur untuk perencanaan Balok Anak 2 dapat dilihat sebagai berikut :

Lebar Balok (b) = 250 mm

Tinggi Balok (h) = 300 mm

D Tulangan Longitudinal, d_b = 19 mm

D Tulangan Pinggang, d_{bt} = 19 mm

D Tulangan Sengkang, d_s = 10 mm

Selimut Bersih, cc = 40 mm

Tinggi Efektif Balok, d = h - cc - ds - db/2 = 240,5 mm

fc' = 25 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yv} = 280 MPa

β_1 = 0,65 ≤ 0,85 – 0,05 × (fc' - 28) / 7

= 0,85

Parameter Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi :

A_{cp} = b × h

= 250 × 300

= 75000 mm^2

P_{cp} = 2 × (b + h)

= 2 × (250 + 300)

= 1100 mm

X_o = b - 2 × cc – d_s

= 250 – 2 × 40 – 10

= 160 mm

Y_o = h - 2 × cc – d_s

= 300 – 2 × 40 – 10

= 210 mm

A_{oh} $= X_o \times Y_o$

$= 160 \times 210$

$= 33600\ mm^2$

A_o $= 0{,}85 \times A_{oh}$

$= 0{,}85 \times 33600$

$= 28560\ mm^2$

P_h $= 2 \times (X_o + Y_o)$

$= 2 \times (160 + 210)$

$= 740\ mm$

Gaya Dalam Balok Anak 2 :

T_u $= 14{,}2014\ kNm$

Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi :

T_{cr} $= \frac{0{,}33 \times (fc)^{0{,}5} \times Acp^2}{Pcp}$

$= \frac{0{,}33 \times (25)^{0{,}5} \times 75000^2}{1100}$

$= 8437500\ Nmm$

Φ $= 0{,}75$

$\phi\ T_{cr} / 4$ $= \frac{\phi \times Tcr}{4}$

$= \frac{0{,}75 \times 8437500}{4}$

$= 1582031\ Nmm$

Pengecekan kebutuhan tulangan torsi dilihat dari nilai Tu dan $\frac{\phi \times Tcr}{4}$. Jika nilai Tu $\geq$ $\frac{\phi \times Tcr}{4}$ maka membutuhkan tulangan torsi. Pada perhitungan ini mendapatkan hasil $14{,}2014 \times 10^5$ Nmm $\geq$ 1582031 Nmm (Nilai Tu dikonversi dari kNm ke Nmm). Maka balok anak 2 tidak membutuhkan tulangan torsi.

Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang :

T_u use $= \Phi \times Tcr$

$= 0{,}75 \times 8437500$

$= 6328125\ Nmm$

V_u, tumpuan $= 72{,}656\ kN$

= 72656 N

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

$= 0{,}17 \times (25')^{0{,}5} \times 250 \times 240{,}5$

= 51106 N

Teg. Ult. Geser+Torsi $= \sqrt{\left(\frac{Vu}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \times Ph}{1{,}7 \times Aoh^2}\right)^2}$

$= \sqrt{\left(\frac{72656}{250 \times 240{,}5}\right)^2 + \left(\frac{6328125 \times 740}{1{,}7 \times 33600^2}\right)^2}$

= 2,723 MPa

Kapasitas Teg. Beton $= \Phi \times \left(\frac{vc}{b \times d} + 0{,}66 \times \sqrt{fc}\right)$

$= 0{,}75 \times \left(\frac{51106}{250 \times 240{,}5} + 0{,}66 \times \sqrt{25}\right)$

= 3,113 MPa

Pengecekan dimensi penampang harus membandingkan nilai Teg. Ult. Geser + Torsi dan Cek Dimensi Penampang. Dimana nilai Teg. Ult. Geser + Torsi ≤ Cek Dimensi Penampang. Pada perhitungan diatas telah didapatkan perbandingannya yaitu 2,723 MPa ≤ 3,113 MPa, dapat disimpulkan bahwan dimensi penampang memenuhi.

Penulangan Transversal :

Kaki Tumpuan, n = 2 buah (hasil pada kapasitas geser)

Kaki Lapangan, n = 2 buah (hasil pada kapasitas geser)

Spasi Tumpuan = 80 mm (hasil pada kapasitas geser)

Spasi Lapangan = 80 mm (hasil pada kapasitas geser)

Spasi Max 1 $= \frac{Ph}{8}$

$= \frac{740}{8}$

= 93 mm

Spasi Max 2 = 300 mm

Nilai Spasi tumpuan dan lapangan dicek dengan membandingkan Spasi Tumpuan ≤ Spasi Max 1 dan Spasi Lapangan ≤ Spasi Max 1. Pada perhitungan kita mendapatkan hasil 80 ≤ 93 dan 80 ≤ 93. Hasil ini telah cukup untuk memenuhi nilai spasi.

A_v + t / S Tum. Pasang $= n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{ds^2}{s}$

$= 2 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{10^2}{80}$

$= 1{,}963\ mm^2$

A_v + t / S Lap. Pasang $= n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{ds^2}{s}$

$= 2 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{10^2}{80}$

$= 1{,}963\ mm^2$

A_t/s $= \frac{Tu}{(2 \times \Phi \times Ao \times fyv)}$

$= \frac{18{,}2014}{(2 \times 0{,}75 \times 28560 \times 280)}$

$= 0{,}528\ mm^2$

A_v / s Tumpuan Perlu $= \frac{\frac{Vu\ tumpuan}{\Phi} - Vc}{fyv \times d}$

$= \frac{\frac{72656}{0{,}75} - 51106}{480 \times 240{,}5}$

$= 0{,}680\ mm^2$

A_v / s Lapangan Perlu $= \frac{\frac{Vu\ lapangan.}{\Phi} - Vc}{fyv \times d}$

$= \frac{\frac{68984{,}9}{0{,}75} - 51106}{480 \times 240{,}5}$

$= 0{,}607\ mm^2$

A_v+t/ s Tum. Perlu $= 2 \times \frac{At}{s} + \frac{Av}{s}$

$= 2 \times 0{,}528 + 0{,}680$

$= 1{,}735$

A_v+t/ s Lap. Perlu $= 2 \times \frac{At}{s} + \frac{Av}{s}$

$= 2 \times 0{,}528 + 0{,}607$

$= 1{,}662$

A_v+t/ s min 1 $= 0{,}062 \times (fc')^{0{,}5} \times \frac{b}{fyv}$

$= 0{,}062 \times (25)^{0{,}5} \times \frac{250}{280}$

$= 0{,}277$

A_v+t / s min 2 $= 0{,}35 \times \frac{b}{fyv}$

$= 0{,}35 \times \frac{250}{280}$

= 0,313

Pengecekan geser + torsi dilakukan dengan membandingkan nilai (Av + t / S Tum. Pasang, Av + t / S Lap. Pasang) ≥ (Av+t/ s Tum. Perlu, Av+t/ s Lap. Perlu) dan (Av+t/ s min 1, Av+t / s min 2). Pada perhitungan ini kita mendapatkan hasil untuk tumpuan 1,963 ≥ 1,735 dan 0,277. Untuk lapangan didapatkan 1,963 ≥ 1,662 dan 0,313.

Pengecekan Spasi Tulangan Longitudinal :

d_b, min = 0,042 × Spasi
= 0,042 × 80
= 3,36 mm

As Perlu Tump. Atas = 889,580 mm^2 (hasil pada kapasitas geser)

As Perlu Tump. Bawah = 857,907 mm^2 (hasil pada kapasitas geser)

As Perlu Lap. Atas = 700,139 mm^2 (hasil pada kapasitas geser)

As Perlu Lap. Bawah = 882,470 mm^2 (hasil pada kapasitas geser)

A_l = $\frac{At}{S} \times Ph$
= 0,528 × 740
= 390,391 mm^2

A_l min = $0{,}42 \times \sqrt{fc} \times \frac{Acp}{fy} - \frac{At}{s} \times Ph$
= $0{,}42 \times \sqrt{25} \times \frac{75000}{420} - 0{,}528 \times 740$
= 15,391 mm^2

$A_s + A_l$ Perlu Tump. = As Perlu Tump. Atas dan Bawah + A_l
= 979,042 + 696,778 + 446,578
= 2122,399 mm^2

$A_s + A_l$ Perlu Lapangan = As Perlu Lapangan Atas dan Bawah + A_l
= 390,391 + 889,580 + 857,907
= 2137,878 mm^2

Tumpuan Atas, n = 5 buah

Tumpuan Tengah, n = -

Tumpuan Bawah, n = 4 buah

Lapangan Atas, n = 3 buah

Lapangan Tengah, n = -

Lapangan Bawah, n = 4 buah

Spasi Horizontal Tump. $= \frac{b - 2 \times cc - 2 \times ds - db}{n\ bawah - 1}$

$= \frac{250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 19}{4 - 1}$

= 44 mm

Spasi Horizontal Lap. $= \frac{b - 2 \times cc - 2 \times ds - db}{n\ atas - 1}$

$= \frac{250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 19}{3 - 1}$

= 66 mm

Pengecekan Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan dapat dilihat dari perbandingan nilai Spasi horizontal dengan nilai Spasi max 2. Dimana nilai spasi harus, Spasi horizontal ≤ Spasi Max 2. Dari perhitungan dapat dilihat bahwa nilai spasi horizontal lebih kecil dari nilai spasi max 2 yaitu 44 mm ≤ 300 mm.

Untuk Pengecekan Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan juga memiliki nilai yang sama dengan Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan yaitu 66 mm ≤ 300 mm.

$A_s + A_l$ Pasang Tump. $= \frac{\pi}{4} \times \{(n\ atas + n\ bawah) \times db^2 + n\ tengah \times dbt\}$

$= \frac{\pi}{4} \times \{(5 + 4) \times 19^2 + 2 \times 19\}$

= 3118,816 mm^2

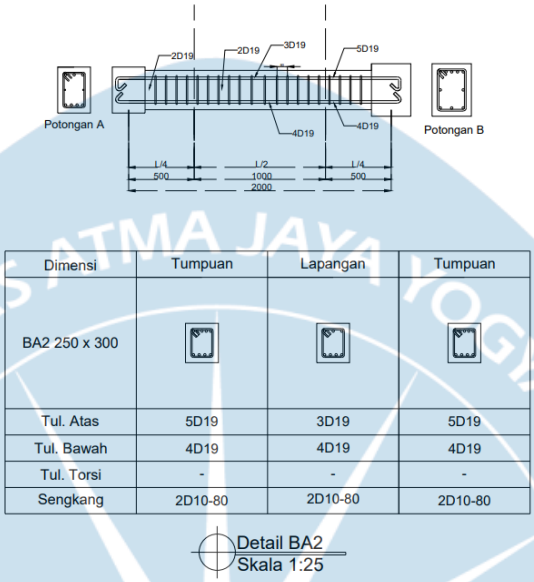
$A_s + A_l$ Pasang Lap. $= \frac{\pi}{4} \times \{(n\ atas + n\ bawah) \times db^2 + n\ tengah \times dbt\}$

$= \frac{\pi}{4} \times \{(3 + 4) \times 19^2 + 2 \times 19\}$

= 2551,759 mm^2

Pengecekan Lentur + Torsi Tumpuan dilihat dari nilai harus memenuhi As + Al Pasang ≥ As + Al Perlu. Pada perhitungan ini mendapatkan nilai 3118,816 mm^2 ≥ 2122,399 mm^2. Maka sengkang yang digunakan untuk tumpuan berjumlah 2, berdiameter 10 mm dan spasi 80 mm yaitu 2D10-80. Untuk Pengecekan Lentur + Torsi Lapangan dilihat dari nilai harus memenuhi As + Al Pasang ≥ As + Al Perlu. Telah didapatkan nilai perhitungan yaitu 2137,878 mm^2 ≥ 2551,759 mm^2. Maka sengkang yang digunakan untuk lapangan adalah 2D10-80.

Karena menggunakan metode perhitungan yang serupa untuk setiap bangunan, akan disertakan hasil perhitungan tulangan yang lebih lengkap untuk balok setiap bangunan pada lampiran. Detail balok anak 2 dapat di lihat pada Gambar 2.26.



Dimensi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
BA2 250 x 300			
Tul. Atas	5D19	3D19	5D19
Tul. Bawah	4D19	4D19	4D19
Tul. Torsi	-	-	-
Sengkang	2D10-80	2D10-80	2D10-80

Detail BA2
Skala 1:25

Gambar 2. 26 Detail Balok Anak 2

2.12.2 Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan elemen struktural utama yang berfungsi menyalurkan beban dari balok anak atau pelat lantai menuju kolom. Sebagai bagian penting dalam sistem rangka bangunan, balok induk memikul beban lentur yang cukup besar dan berperan menjaga kestabilan struktur secara keseluruhan. Umumnya, balok induk memiliki dimensi yang lebih besar dibandingkan balok anak karena menanggung beban total dari elemen-elemen di atasnya. Balok ini juga berfungsi untuk mengurangi lendutan dan getaran pada struktur, serta memastikan beban terdistribusi secara merata ke kolom dan fondasi. Dalam proses perencanaannya, balok induk dihitung dengan metode analisis balok beton bertulang untuk menentukan kebutuhan tulangan utama, tulangan geser, dan penulangan tambahan sesuai dengan ketentuan standar yang berlaku.

Pada bangunan ini terdapat beberapa bentang balok induk yaitu 5m, 5,48m, 5,85m, 6m, dan 6,25m. Pada perhitungan berikut akan dijabarkan perhitungan balok induk pada bentang 5m.

A. Perencanaan Balok Induk Bentang 5 m Rumah Toko

1. Perhitungan Kapasitas Lentur

Data struktur untuk perencanaan Balok Induk dapat dilihat sebagai berikut :

Panjang balok (L) = 5000 mm

Lebar Balok (b) = 300 mm

Tinggi Balok (h) = 400 mm

Panjang Tumpuan = 2 × h

= 2 × 400

= 800 mm

D Tulangan Longitudinal, d_b = 19 mm

D Tulangan Pinggang, d_{bt} = 19 mm

D Tulangan Sengkang, d_s = 10 mm

Selimut Bersih, cc = 40 mm

Tinggi Efektif Balok, d = h - cc - d_s - d_b/2 = 337,5 mm

fc' = 25 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yv} = 280 MPa

β_1 = 0,65 ≤ 0,85 – 0,05 x (fc' - 28) / 7

= 0,85

Panjang Kolom, c_1 = 500 mm

Lebar Kolom, c_2 = 500 mm

Ln = L - c_1

= 5000 – 500

= 4500 mm

λ = 1

Gaya Dalam Balok Induk Bentang 5 m :

Mu,tumpuan (-) = -154,5756 kNm (hasil output ETABS)

Mu,tumpuan (+) = 93,6511 kNm (hasil output ETABS)

Mu,lapangan (-) = -122,4004 kNm (hasil output ETABS)

Mu,lapangan (+) = 142,7422 kNm (hasil output ETABS)

Pu = 0 kN (hasil output ETABS)

Syarat Gaya dan Geometri :

Syarat Gaya Aksial = Pu ≤ 0,1 × Ag × fc'

$= 0 \leq 0{,}1 \times (300 \times 400) \times 25$

$= 0 \leq 300000$ (memenuhi)

Syarat Tinggi Efektif $= Ln \geq 4d$

$= 4500 \geq 4 \times 337{,}5$

$= 4500 \geq 1350$ mm (memenuhi)

Syarat Lebar 1 $= b \geq 250$ mm

$= 300 \geq 250$ mm (memenuhi)

Syarat Lebar 2 $= b \leq c_2 + 2 \times 0{,}75 \times c_1$

$= 300 \leq 500 + 2 \times 375$

$= 300 \leq 1250$ (memenuhi)

2. Penulangan Lentur

Tumpuan Negatif :

Mu,tumpuan (-) = -154,5756 kNm

d_b = 19 mm

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\emptyset \times 0{,}85 \times f'c \times b}}$$

$$a = 337{,}5 - \sqrt{337{,}5^2 - \frac{2 \times 154{,}5756 \times 10^6}{0{,}9 \times 0{,}85 \times 25 \times 300}}$$

$$a = 93{,}8821 \text{ mm}$$

Menghitung luas tulangan perlu ($A_{s\ perlu}$)

$$A_{s\ perlu} = \frac{M_u}{\emptyset \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{154{,}5756 \times 10^6}{0{,}9 \times 420 \times \left(337{,}5 - \frac{93{,}8821}{2}\right)}$$

$= 1407{,}3914$ mm^2

Cek terhadap luas tulangan batas ($A_{s\ min}$ dan $A_{s\ max}$)

$$A_{s\ min} = \frac{1{,}4}{f_y} \times b \times d = \frac{1{,}4}{420} \times 300 \times 337{,}5 = 337{,}5 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\ max} = \frac{0{,}36 \times \beta_1 \times f'c \times b \times d}{420} = \frac{0{,}36 \times 0{,}85 \times 25 \times 300 \times 337{,}5}{420}$$

= 1844,1964 mm^2

Karena $A_{s\ min} < A_{s\ perlu} < A_{s\ max}$ (337,5 < 1407,3914 < 1844,1964), maka digunakan $A_{s\ perlu}$ = 1407,3914 mm^2

$$n = \frac{A_{s\ perlu}}{\frac{1}{4} \times \pi \times {d_b}^2} = \frac{1407,3914}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2} = \frac{1407,3914}{283,5287} = 4,9638 \approx 5 \text{ buah}$$

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

$= \frac{(250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 19)}{(5 - 1)}$

= 24,750 mm

Jumlah Lapis = 2

Jumlah tulangan = 5

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

$= \frac{\pi}{4} \times 5 \times 19^2$

= 1417,7644 mm^2

A_s min,1 $= \frac{\sqrt{fc}}{(4 \times fy)} \times b \times d$

$= \frac{\sqrt{25}}{(4 \times 420)} \times 300 \times 337,5$

= 301,339 mm^2

A_s min,2 $= \frac{1,4}{(4 \times fy)} \times b \times d$

$= \frac{1,4}{(4 \times 420)} \times 300 \times 337,5$

= 337,500 mm^2

$$A_{s\ perlu} = \frac{M_u}{\emptyset \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{122,4004 \times 10^6}{0,9 \times 420 \times \left(337,5 - \frac{64,1407}{2}\right)}$$

= 973,5648 mm^2

Cek As min dimana seharusnya As Pasang ≥ As min maka pada perhitungan ini mendapatkan 1417,7644 mm^2 ≥ 301,339 mm^2 dan 1417,7644 mm^2 ≥ 337,500 mm^2.

ρ $= \frac{As}{(b \times d)}$

$= \frac{1417,7644}{(300 \times 337,5)}$

$= 1,4\%$

ρ max 1 $= 0,75 \times 0,85 \times \beta 1 \times \frac{fc}{fy} \times \frac{600}{600 + fy}$

$= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$

$= 1,9\%$

ρ max 2 $= 2,5\%$

Pengecekan nilai as max dapat dilihat dari perbandingan nilai ρ, dimana nilai ρ harus lebih kecil dari nilai tertinggi ρ max. Pada perhitungan diatas didapatkan nilai 1,4% ≤ 2,5%, maka perhitungan dianggap memenuhi pengecekan nilai A_s max.

a $= \frac{As \times fy}{(0,85 \times fc \times b)}$

$= \frac{1417,7644 \times 420}{(0,85 \times 25 \times 250)}$

$= 93,398$ mm

Mn $= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$

$= 1417,7644 \times 420 \times (337,5 - \frac{93,398}{2})$

$= 173,146$ kNm

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

$= \frac{93,398}{0,85}$

$= 109,880$ mm

εs $= \frac{(d - c)}{c} \times 0,003$

$= \frac{337,5 - 109,880}{109,880} \times 0,003$

$= 0,006$

ϕ $= 0,9$

ϕMn $= \phi \times Mn$

$= 0,9 \times 173,146$

$= 155,831$ kNm

Pengecekan kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil ϕMn dengan absolut Mu,tumpuan (-), yang dimana ϕMn ≥ Mu,tumpuan (-). Pada hasil

perhitungan ini di dapatkan 155,831 kNm ≥ 154,5756 kNm. Hal ini menyimpulkan bahwa jumlah tulangan tumpuan atas telah memenuhi yaitu berjumlah 5 buah diameter 19 atau 5D19.

Tumpuan Positif :

M_u Tumpuan (+) = 93,6511 kNm

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\emptyset \times 0{,}85 \times f'c \times b}}$$

$$a = 337{,}5 - \sqrt{337{,}5^2 - \frac{2 \times 93{,}6511 \times 10^6}{0{,}9 \times 0{,}85 \times 25 \times 300}}$$

$$a = 52{,}4369 \text{ mm}$$

$$A_{s\,perlu} = \frac{M_u}{\emptyset \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{93{,}6511 \times 10^6}{0{,}9 \times 420 \times \left(337{,}5 - \frac{52{,}4369}{2}\right)}$$

$= 795{,}9169 \text{ mm}^2$

Cek terhadap luas tulangan batas ($A_{s\,min}$ dan $A_{s\,max}$)

$$A_{s\,min} = \frac{1{,}4}{f_y} \times b \times d = \frac{1{,}4}{420} \times 300 \times 337{,}5 = 337{,}5 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\,max} = \frac{0{,}36 \times \beta_1 \times f'c \times b \times d}{420} = \frac{0{,}36 \times 0{,}85 \times 25 \times 300 \times 337{,}5}{420}$$

$= 1844{,}1964 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_{s\,perlu}}{\frac{1}{4} \times \pi \times {d_b}^2} = \frac{795{,}9169}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2} = \frac{795{,}9169}{283{,}5287} = 2{,}8071 \approx 3 \text{ buah}$$

d_b = 19 mm

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

$= \frac{(250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19)}{(3 - 1)}$

= 68,5 mm

Jumlah Lapis = 1

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

$= \frac{\pi}{4} \times 3 \times 19^2$

$= 850{,}586 \text{ mm}^2$

A_s min,1 $= \frac{\sqrt{fc}}{(4 \times fy)} \times b \times d$

$= \frac{\sqrt{25}}{(4 \times 420)} \times 300 \times 337{,}5$

$= 301{,}339 \text{ mm}^2$

A_s min,2 $= \frac{1{,}4}{(4 \times fy)} \times b \times d$

$= \frac{1{,}4}{(4 \times 420)} \times 300 \times 337{,}5$

$= 337{,}500 \text{ mm}^2$

A_s min 3 $= 0{,}25 \times$ As Tumpuan Negatif

$= 0{,}25 \times 1417{,}644$

$= 708{,}822 \text{ mm}^2$

Cek As min dimana seharusnya As Pasang ≥ Max dari As min, maka pada perhitungan ini mendapatkan 850,586 ≥ 708,822. Nilai tersebu telah memenuhi perbandingan.

ρ $= \frac{As}{(b \times d)}$

$= \frac{850{,}586}{(300 \times 337{,}5)}$

$= 0{,}84\%$

ρ max 1 $= 0{,}75 \times 0{,}85 \times \beta 1 \times \frac{fc}{fy} \times \frac{600}{600 + fy}$

$= 0{,}75 \times 0{,}85 \times 0{,}85 \times \frac{25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$

$= 1{,}9\%$

ρ max 2 $= 2{,}5\%$

Pengecekan nilai as max dapat dilihat dari perbandingan nilai p, dimana nilai ρ harus lebih kecil dari nilai tertinggi ρ max. Pada perhitungan diatas didapatkan nilai 0,84% ≤ 2,5%, maka perhitungan dianggap memenuhi pengecekan nilai A_s max.

a $= \frac{As \times fy}{(0{,}85 \times fc \times b)}$

$= \frac{850{,}586 \times 420}{(0{,}85 \times 25 \times 250)}$

$= 56{,}039 \text{ mm}$

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

$= 850{,}586 \times 420 \times (337{,}5 - \frac{56{,}039}{2})$

$= 110{,}561$ kNm

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

$= \frac{56{,}039}{0{,}85}$

$= 65{,}928$ mm

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

$= \frac{337{,}5 - 65{,}928}{65{,}928} \times 0{,}003$

$= 0{,}012$

ϕ $= 0{,}9$

ϕMn $= \phi \times Mn$

$= 0{,}9 \times 110{,}561$

$= 99{,}505$ kNm

Pengecekan kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil ϕMn dengan Mu,tumpuan (+), yang dimana ϕMn ≥ Mu,tumpuan (+). Pada hasil perhitungan ini di dapatkan 99,505 kNm ≥ 93,6511 kNm. Hal ini menyimpulkan bahwa jumlah tulangan tumpuan bawah telah memenuhi yaitu berjumlah 3 buah diameter 19 atau 3D19.

Lapangan Negatif :

Mu,lapangan (-) = -122,4004 kNm

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\emptyset \times 0{,}85 \times f'c \times b}}$$

$$a = 337{,}5 - \sqrt{337{,}5^2 - \frac{2 \times 122{,}4004 \times 10^6}{0{,}9 \times 0{,}85 \times 25 \times 300}}$$

$$a = 64{,}1407 \text{ mm}$$

$$A_{s\,perlu} = \frac{M_u}{\emptyset \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{122{,}4004 \times 10^6}{0{,}9 \times 420 \times \left(337{,}5 - \frac{64{,}1407}{2}\right)}$$

$= 973{,}5648$ mm^2

Cek terhadap luas tulangan batas ($A_{s\,min}$ dan $A_{s\,max}$)

$$A_{s\,min} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d = \frac{1,4}{420} \times 300 \times 337,5 = 337,5\ mm^2$$

$$A_{s\,max} = \frac{0,36 \times \beta_1 \times f'c \times b \times d}{420} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 300 \times 337,5}{420}$$

$$= 1844,1964\ mm^2$$

$$n = \frac{A_{s\,perlu}}{\frac{1}{4} \times \pi \times {d_b}^2} = \frac{973,5648}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2} = \frac{973,5648}{283,5287} = 3,4337 \approx 4\ buah$$

d_b = 19 mm

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

$= \frac{(250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 19)}{(4 - 1)}$

= 39,34 mm

Jumlah Lapis = 1

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

$= \frac{\pi}{4} \times 4 \times 19^2$

$= 1134,115\ mm^2$

A_s min,1 $= \frac{\sqrt{fc}}{(4 \times fy)} \times b \times d$

$= \frac{\sqrt{25}}{(4 \times 420)} \times 300 \times 337,5$

$= 301,339\ mm^2$

A_s min,2 $= \frac{1,4}{(4 \times fy)} \times b \times d$

$= \frac{1,4}{(4 \times 420)} \times 300 \times 337,5$

$= 337,500\ mm^2$

A_s min 3 = 0,25 × As Tumpuan Negatif

= 0,25 × 1134,115

$= 354,411\ mm^2$

Cek As min dimana seharusnya As Pasang ≥ Max dari As min, maka pada perhitungan ini mendapatkan 1134,115 ≥ 354,411. Nilai tersebut telah memenuhi perbandingan.

ρ $= \frac{\text{As}}{(\text{b} \times \text{d})}$

$= \frac{1134{,}115}{(300 \times 337{,}5)}$

$= 1{,}12\%$

ρ max 1 $= 0{,}75 \times 0{,}85 \times \beta 1 \times \frac{fc}{fy} \times \frac{600}{600 + fy}$

$= 0{,}75 \times 0{,}85 \times 0{,}85 \times \frac{25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$

$= 1{,}9\%$

ρ max 2 $= 2{,}5\%$

Pengecekan nilai as max dapat dilihat dari perbandingan nilai ρ, dimana nilai ρ harus lebih kecil dari nilai tertinggi ρ max. Pada perhitungan diatas didapatkan nilai 1,12% ≤ 2,5%, maka perhitungan dianggap memenuhi pengecekan nilai A_s max.

a $= \frac{\text{As} \times \text{fy}}{(0{,}85 \times \text{fc} \times \text{b})}$

$= \frac{1134{,}115 \times 420}{(0{,}85 \times 25 \times 250)}$

$= 74{,}718$ mm

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

$= 1134{,}115 \times 420 \times (337{,}5 - \frac{74{,}718}{2})$

$= 142{,}966$ kNm

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

$= \frac{74{,}718}{0{,}85}$

$= 87{,}904$ mm

εs $= \frac{(\text{d} - \text{c})}{\text{c}} \times 03$

$= \frac{337{,}5 - 87{,}904}{87{,}904} \times 0{,}003$

$= 0{,}009$

ϕ $= 0{,}9$

ϕMn $= \phi \times \text{Mn}$

$= 0{,}9 \times 142{,}966$

$= 128{,}669$ kNm

Pengecekan kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil ϕMn dengan absolut Mu,lapangan (-), yang dimana ϕMn ≥ Mu,lapangan (-). Pada hasil perhitungan ini di dapatkan 128,669 kNm ≥ 122,400 kNm. Hal ini menyimpulkan bahwa jumlah tulangan lapangan atas telah memenuhi yaitu berjumlah 4 buah diameter 19 atau 4D19.

3. Lapangan Positif :

Mu,lapangan (+) = 142,7422 kNm

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\emptyset \times 0{,}85 \times f'c \times b}}$$

$$a = 337{,}5 - \sqrt{337{,}5^2 - \frac{2 \times 142{,}7422 \times 10^6}{0{,}9 \times 0{,}85 \times 25 \times 300}}$$

$$a = 84{,}2242 \text{ mm}$$

$$A_{s\,perlu} = \frac{M_u}{\emptyset \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} = \frac{142{,}7422 \times 10^6}{0{,}9 \times 420 \times \left(337{,}5 - \frac{84{,}2242}{2}\right)}$$

$$= 1278{,}4033 \text{ mm}^2$$

Cek terhadap luas tulangan batas ($A_{s\,min}$ dan $A_{s\,max}$)

$$A_{s\,min} = \frac{1{,}4}{f_y} \times b \times d = \frac{1{,}4}{420} \times 300 \times 337{,}5 = 337{,}5 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\,max} = \frac{0{,}36 \times \beta_1 \times f'c \times b \times d}{420} = \frac{0{,}36 \times 0{,}85 \times 25 \times 300 \times 337{,}5}{420}$$

$$= 1844{,}1964 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s\,perlu}}{\frac{1}{4} \times \pi \times {d_b}^2} = \frac{1236{,}3727}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2} = \frac{1278{,}4033}{283{,}5287} = 4{,}5089 \approx 5 \text{ buah}$$

d_b = 19 mm

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

$= \frac{(250 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 19)}{(5 - 1)}$

$= 24{,}750$ mm

Jumlah Lapis $= 2$

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

$= \frac{\pi}{4} \times 5 \times 19^2$

$= 1417{,}7644$ mm^2

A_s min,1 $= \frac{\sqrt{fc}}{(4 \times fy)} \times b \times d$

$= \frac{\sqrt{25}}{(4 \times 420)} \times 300 \times 337{,}5$

$= 301{,}339$ mm^2

A_s min,2 $= \frac{1{,}4}{(4 \times fy)} \times b \times d$

$= \frac{1{,}4}{(4 \times 420)} \times 300 \times 337{,}5$

$= 337{,}500$ mm^2

A_s min 3 $= 0{,}25 \times$ As Tumpuan Negatif

$= 0{,}25 \times 1417{,}644$

$= 354{,}411$ mm^2

Cek As min dimana seharusnya As Pasang ≥ Max dari As min, maka pada perhitungan ini mendapatkan 1417,7644 ≥ 354,411. Nilai tersebut telah memenuhi perbandingan.

$\rho = \frac{As}{(b \times d)}$

$= \frac{1417{,}7644}{(300 \times 337{,}5)}$

$= 1{,}4\%$

ρ max 1 $= 0{,}75 \times 0{,}85 \times \beta 1 \times \frac{fc}{fy} \times \frac{600}{600 + fy}$

$= 0{,}75 \times 0{,}85 \times 0{,}85 \times \frac{25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$

$= 1{,}9\%$

ρ max 2 $= 2{,}5\%$

Pengecekan nilai as max dapat dilihat dari perbandingan nilai ρ, dimana nilai ρ harus lebih kecil dari nilai tertinggi ρ max. Pada perhitungan diatas didapatkan

nilai 1,4% ≤ 2,5%, maka perhitungan dianggap memenuhi pengecekan nilai As max.

a $= \frac{As \times fy}{(0{,}85 \times fc \times b)}$

$= \frac{1417{,}7644 \times 420}{(0{,}85 \times 25 \times 250)}$

$= 93{,}398$ mm

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

$= 1417{,}7644 \times 420 \times (337{,}5 - \frac{93{,}398}{2})$

$= 173{,}146$ kNm

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

$= \frac{93{,}398}{0{,}85}$

$= 109{,}880$ mm

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

$= \frac{337{,}5 - 109{,}880}{109{,}880} \times 0{,}003$

$= 0{,}006$

ϕ $= 0{,}9$

ϕMn $= \phi \times Mn$

$= 0{,}9 \times 173{,}146$

$= 155{,}831$ kNm

Pengecekan kapasitas dilakukan dengan membandingkan hasil ϕMn dengan Mu,Lapangan (+), yang dimana ϕMn ≥ Mu,tumpuan (+). Pada hasil perhitungan ini di dapatkan 155,831 kNm ≥ 142.7422 kNm. Hal ini menyimpulkan bahwa jumlah tulangan lapangan bawah telah memenuhi yaitu berjumlah 5 buah diameter 19 atau 5D19.

4. Kapasitas Geser

Data struktur untuk perencanaan Balok Induk dapat dilihat sebagai berikut :

Panjang balok (L) = 5000 mm

Lebar Balok (b) = 300 mm

Tinggi Balok (h) = 400 mm

Panjang Tumpuan = 2 × h

= 2 × 400

= 800 mm

D Tulangan Longitudinal, d_b = 19 mm

D Tulangan Pinggang, d_{bt} = 19 mm

D Tulangan Sengkang, d_s = 10 mm

Selimut Bersih, cc = 40 mm

Tinggi Efektif Balok, d = h - cc - ds - db/2 = 337,5 mm

fc' = 25 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yv} = 280 MPa

β_1 = 0,65 ≤ 0,85 – 0,05 x (fc' - 28) / 7

= 0.85

Panjang Kolom, c_1 = 500 mm

Lebar Kolom, c_2 = 500 mm

L_n = L - c_1

= 5000 – 500

= 4500 mm

λ = 1

Gaya Dalam Balok Induk Bentang 5 m :

V_u, tumpuan = 36,7775 kN (hasil output ETABS)

V_u, lapangan = 57,8902 kN (hasil output ETABS)

5. Tumpuan

Gaya Desain :

V_g, tumpuan = 53,6916 kN (hasil output ETABS)

A_s+ Tumpuan = A_s pasang

= 850,586 mm^2 (hasil desain lentur)

As- Tumpuan = As pasang

= 1417,644 mm^2 (hasil desain lentur)

apr+ = 1,25 × a (tumpuan positif)

= 1,25 × 56,039

= 70,048 mm

apr- $= 1{,}25 \times$ a (tumpuan negatif)

$= 1{,}25 \times 93{,}398$

$= 116{,}747$ mm

Mpr+ $= As \times (1{,}25 \times fy) \times (d - \frac{apr+}{2})$

$= 850{,}586 \times (1{,}25 \times 420)\ (337{,}5 \frac{70{,}048}{2})$

$= 135072944$ Nmm

Mpr- $= As \times (1{,}25 \times fy) \times (d - \frac{apr-}{2})$

$= 1417{,}644 \times (1{,}25 \times 420)\ (337{,}5 \frac{116{,}747}{2})$

$= 207743461$ Nmm

$V_s$way atau V_{pr} $= \frac{(Mpr+ + Mpr-)}{Ln}$

$= \frac{(135072944 + 207743461)}{4500}$

$= 76181$ N

V_e $= V_g + V_{pr}$

$= 53{,}6916 \times 10^3 + 76181$

$= 129873$ N

Tahanan Geser Beton :

$1/2V_e$ $= \frac{1}{2} \times Ve$

$= \frac{1}{2} \times 129873$

$= 64937$ N

Pu $= 0$ N (hasil output ETABS)

A_g fc' / 20 $= Ag \times \frac{fc}{20}$

$= 300 \times 400 \times \frac{25}{20}$

$= 150000$ N

Penulangan Geser :

Jumlah Kaki, n $= 2$ buah (asumsi)

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

$= \frac{2 \times \pi}{4 \times 13^2}$

$= 265{,}465\ mm^2$

Spasi, s $= 80$ mm (asumsi)

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

$= \frac{337{,}5}{4}$

$= 84{,}38$ mm

Spasi Max 2 $= 6 \times db$

$= 6 \times 19$

$= 114$ mm

Spasi Max 3 $= 150$ mm

Pengecekan spasi mengharuskan nilai Spasi ≤ Min Spasi Max, pada perhitungan ini mendapatkan 80 mm ≤ 84,38 mm, dapat disimpulkan bahwa Spasi telah memenuhi.

$V_s = Av \times fyv \times \frac{d}{s}$

$= 265{,}465 \times 280 \times \frac{337{,}5}{80}$

$= 313580$ N

Batas $V_s = 0{,}66 \times (fc')^{0{,}5} \times b \times d$

$= 0{,}66 \times (25)^{0{,}5} \times 300 \times 337{,}5$

$= 334125$ N

$\phi = 0{,}75$

$V_c = 0$ N

$V_n = V_c + V_s$

$= 0 + 313580$

$= 313580$ N

$V_u = V_e$

$= 129873$

Cek Kapasitas $= \frac{\phi \times Vn}{Vu}$

$= \frac{0{,}75 \times 313580}{129873}$

$= 1{,}811$

Hasil pengecekan kapasitas tumpuan tumpuan geser mendapatkan nilai 1,811 yang mana telah memenuhi persyaratan kapasitas tumpuan geser yaitu $\frac{\phi \times Vn}{Vu} \geq 1$.

Tulangan Lapangan :

Jumlah Kaki, n = 2 buah (asumsi)

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

$= \frac{2 \times \pi}{4 \times 13^2}$

$= 265{,}465 \text{ mm}^2$

Spasi, s = 100 mm (asumsi)

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

$= \frac{337{,}5}{2}$

$= 168{,}75$ mm

Pengecekan spasi mengharuskan nilai Spasi ≤ Min Spasi Max, pada perhitungan ini mendapatkan 100 mm ≤ 168,75 mm, dapat disimpulkan bahwa Spasi telah memenuhi.

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

$= 265{,}465 \times 280 \times \frac{337{,}5}{100}$

$= 250864$ N

Batas $V_s = 0{,}66 \times (fc')^{0{,}5} \times b \times d$

$= 0{,}66 \times (25)^{0{,}5} \times 300 \times 337{,}5$

$= 334125$ N

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

$= 0{,}17 \times (25)^{0{,}5} \times 250 \times 337{,}5$

$= 86063$ N

$\phi = 0{,}75$

$V_n = V_c + V_s$

$= 86063 + 250864$

$= 336927$ N

V_u = V_u lapangan

$= 57{,}8902 \times 10^3$

$= 57890{,}2$

Cek Kapasitas $= \frac{\phi \times Vn}{Vu}$

$= \frac{0{,}75 \times 336927}{57890{,}2}$

= 4,365

Hasil pengecekan kapasitas tumpuan tumpuan geser mendapatkan nilai 4,365 yang mana telah memenuhi persyaratan kapasitas tumpuan geser yaitu $\frac{\phi \times Vn}{Vu} \geq 1$.

6. Kapasitas Torsi

Data struktur untuk perencanaan Balok Induk dapat dilihat sebagai berikut :

Panjang balok (L) = 5000 mm

Lebar Balok (b) = 300 mm

Tinggi Balok (h) = 400 mm

Panjang Tumpuan = 2 × h

= 2 × 400

= 800 mm

D Tulangan Longitudinal, d_b = 19 mm

D Tulangan Pinggang, d_{bt} = 19 mm

D Tulangan Sengkang, d_s = 10 mm

Selimut Bersih, cc = 40 mm

Tinggi Efektif Balok, d = h - cc - ds - db/2 = 337,5 mm

fc' = 25 MPa

f_y = 420 MPa

f_{yv} = 280 MPa

β_1 = 0,65 ≤ 0,85 – 0,05 x (fc' - 28) / 7

= 0,85

Panjang Kolom, c_1 = 500 mm

Lebar Kolom, c_2 = 500 mm

L_n = L - c_1

= 5000 – 500

= 4500 mm

λ = 1

Parameter Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi :

A_{cp} = b × h

= 300 × 400

= 120000 mm^2

P_{cp} = 2 × (b + h)

$= 2 \times (300 + 400)$

$= 1400$ mm

X_o $= b - 2 \times cc - d_s$

$= 300 - 2 \times 40 - 13$

$= 207$ mm

Y_o $= h - 2 \times cc - d_s$

$= 400 - 2 \times 40 - 13$

$= 307$ mm

A_{oh} $= X_o \times Y_o$

$= 207 \times 307$

$= 63549 \text{ mm}^2$

A_o $= 0{,}85 \times A_{oh}$

$= 0{,}85 \times 63549$

$= 54017 \text{ mm}^2$

P_h $= 2 \times (X_o + Y_o)$

$= 2 \times (207 + 307)$

$= 1028$ mm

Gaya Dalam Balok Induk Bentang 5 m:

T_u $= 71{,}5768$ kNm

Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi :

T_{cr} $= \frac{0{,}33 \times (fc)^{0,5} \times Acp^2}{Pcp}$

$= \frac{0{,}33 \times (25)^{0,5} \times 120000^2}{1400}$

$= 16971429$ Nmm

Φ $= 0{,}75$

$\phi\, T_{cr} / 4$ $= \frac{\phi \times Tcr}{4}$

$= \frac{0{,}75 \times 16971429}{4}$

$= 3182143$ Nmm

Pengecekan kebutuhan tulangan torsi dilihat dari nilai Tu dan $\frac{\phi \times Tcr}{4}$. Jika nilai $T_u \geq \frac{\phi \times Tcr}{4}$ maka membutuhkan tulangan torsi. Pada perhitungan ini

mendapatkan hasil 71,5768 × 10^6 Nmm ≥ 3182143 Nmm (Nilai T_u dikonversi dari kNm ke Nmm). Maka balok anak 1 membutuhkan tulangan torsi.

Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang :

T_u use = Φ × Tcr

= 0,75 × 3182143

= 12728571 Nmm

V_u, tumpuan = 129873 N

V_c = 0,17 × (fc') ^{0,5} × b × d

= 0,17 × (25') ^{0,5} × 300 × 337,5

= 86063 N

Teg. Ult. Geser+Torsi $= \sqrt{\left(\frac{Vu}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \times Ph}{1{,}7 \times Aoh^2}\right)^2}$

$= \sqrt{\left(\frac{129873}{300 \times 337{,}5}\right)^2 + \left(\frac{12728571 \times 1028}{1{,}7 \times 63549}\right)^2}$

= 2,297 MPa

Kapasitas Teg. Beton $= \Phi \times \left(\frac{vc}{b \times d} + 0{,}66 \times \sqrt{fc}\right)$

$= 0{,}75 \times \left(\frac{86063}{300 \times 337{,}5} + 0{,}66 \times \sqrt{25}\right)$

= 3,113 MPa

Pengecekan dimensi penampang harus membandingkan nilai Teg. Ult. Geser + Torsi dan Cek Dimensi Penampang. Dimana nilai Teg. Ult. Geser + Torsi ≤ Cek Dimensi Penampang. Pada perhitungan diatas telah didapatkan perbandingannya yaitu 2,297 MPa ≤ 3,113 MPa, dapat disimpulkan bahwa dimensi penampang memenuhi.

Penulangan Transversal Torsi :

Kaki Tumpuan, n	= 2 buah	(hasil pada kapasitas geser)
Kaki Lapangan, n	= 2 buah	(hasil pada kapasitas geser)
Spasi Tumpuan	= 80 mm	(hasil pada kapasitas geser)
Spasi Lapangan	= 100 mm	(hasil pada kapasitas geser)

Spasi Max 1 $= \frac{Ph}{8}$

$= \frac{1028}{8}$

= 129 mm

Spasi Max 2 = 300 mm

Nilai Spasi tumpuan dan lapangan dicek dengan membandingkan Spasi Tumpuan ≤ Spasi Max 1 dan Spasi Lapangan ≤ Spasi Max 1. Pada perhitungan kita mendapatkan hasil 80 ≤ 129 dan 80 ≤129. Hasil ini telah cukup untuk memenuhi nilai spasi.

Av + t / S Tum. Pasang $= n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{ds^2}{s}$

$= 2 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{13^2}{80}$

$= 3{,}318\ mm^2$

Av + t / S Lap. Pasang $= n \times \frac{\pi}{4} \times \frac{ds^2}{s}$

$= 2 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{13^2}{100}$

$= 2{,}655\ mm^2$

A_t/s $= \frac{Tu}{(2 \times \Phi \times Ao \times fyv)}$

$= \frac{129873}{(2 \times 0{,}75 \times 54017 \times 280)}$

$= 0{,}561\ mm^2$

A_v/s Tumpuan Perlu $= \frac{\frac{Vu\ tumpuan}{\Phi} - Vc}{fyv \times d}$

$= \frac{\frac{129873.}{0{,}75} - 86063}{280 \times 337{,}5}$

$= 1{,}832\ mm^2$

A_v/s Lapangan Perlu $= \frac{\frac{Vu\ lapangan.}{\Phi} - Vc}{fyv \times d}$

$= \frac{\frac{57890{,}2}{0{,}75} - 86063}{280 \times 337{,}5}$

$= 0{,}094\ mm^2$

A_v+t/ s Tum. Perlu $= 2 \times \frac{At}{s} + \frac{Av}{s}$

$= 2 \times 0{,}561 + 1{,}832$

$= 2{,}955$

A_v+t/ s Lap. Perlu $= 2 \times \frac{At}{s} + \frac{Av}{s}$

$= 2 \times 0{,}561 + 0{,}094$

$= 1{,}028$

A_v+t/ s min 1 $= 0{,}062 \times (fc')^{0{,}5} \times \frac{b}{fyv}$

$= 0{,}062 \times (25)^{0{,}5} \times \frac{300}{280}$

$= 0{,}332$

A_v+t / s min 2 $= 0{,}35 \times \frac{b}{fyv}$

$= 0{,}35 \times \frac{300}{280}$

$= 0{,}375$

Pengecekan geser + torsi dilakukan dengan membandingkan nilai (Av + t / S Tum. Pasang, Av + t / S Lap. Pasang) ≥ (Av+t/ s Tum. Perlu, Av+t/ s Lap. Perlu) dan (Av+t/ s min 1, Av+t / s min 2). Pada perhitungan ini kita mendapatkan hasil untuk tumpuan 3.318 ≥ 2,955 dan 0,332. Untuk lapangan didapatkan 2.655 ≥ 1,028dan 0,375.

Penulangan Longitudinal Torsi :

d_b atau d_{bt} = 19 mm

d_b, min $= 0{,}042 \times$ Spasi

$= 0{,}042 \times 100$

$= 4{,}2$ mm

As Perlu Tump. Atas = 1265,597 mm^2 (hasil pada kapasitas geser)

As Perlu Tump. Bawah = 720,493 mm^2 (hasil pada kapasitas geser)

As Perlu Lap. Atas = 970,976 mm^2 (hasil pada kapasitas geser)

As Perlu Lap. Bawah = 1168,711 mm^2 (hasil pada kapasitas geser)

A_l $= \frac{At}{S} \times Ph$

$= 0{,}561 \times 1028$

$= 576{,}761$ mm^2

A_l min $= 0{,}42 \times \sqrt{fc} \times \frac{Acp}{fy} - \frac{At}{s} \times Ph$

$= 0{,}42 \times \sqrt{25} \times \frac{120000}{420} - 0{,}561 \times 1028$

$= 23{,}239$ mm^2

$A_s + A_l$ Perlu Tump. $= A_s$ Perlu Tump. Atas dan Bawah + A_l

$= 1265{,}597 + 720{,}493 + 576{,}761$

$= 2562{,}852$ mm^2

$A_s + A_l$ Perlu Lapangan $= A_s$ Perlu Lapangan Atas dan Bawah + A_l

= 970,976 + 1168,711 + 576,761

= 2716,447 mm^2

Tumpuan Atas, n = 5 buah

Tumpuan Tengah, n = 4 buah

Tumpuan Bawah, n = 3 buah

Lapangan Atas, n = 4 buah

Lapangan Tengah, n = 2 buah

Lapangan Bawah, n = 5 buah

Spasi Horizontal Tump. $= \frac{b - 2 \times cc - 2 \times ds - db}{n\ bawah - 1}$

$= \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 19}{3 - 1}$

= 88 mm

Spasi Horizontal Lap. $= \frac{b - 2 \times cc - 2 \times ds - db}{n\ bawah - 1}$

$= \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 19}{5 - 1}$

= 58 mm

Pengecekan Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan dapat dilihat dari perbandingan nilai Spasi horizontal dengan nilai Spasi max 2. Dimana nilai spasi harus, Spasi horizontal ≤ Spasi Max 2. Dari perhitungan dapat dilihat bahwa nilai spasi horizontal lebih kecil dari nilai spasi max 2 yaitu 88 mm ≤ 300 mm.

Untuk Pengecekan Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan juga memiliki nilai yang sama dengan Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan yaitu 58 mm ≤ 300 mm.

$A_s + A_l$ Pasang Tump. $= \frac{\pi}{4} \times \{(n\ atas + n\ bawah) \times db^2 + n\ tengah \times dbt\}$

$= \frac{\pi}{4} \times \{(5 + 3) \times 19^2 + 4 \times 19\}$

= 3402,345 mm^2

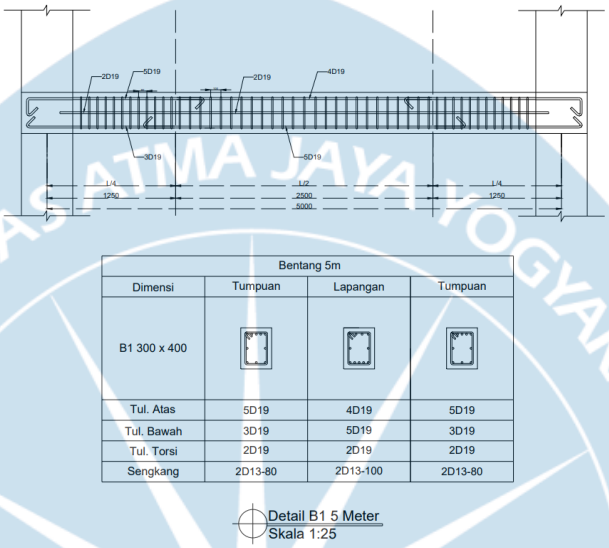
$A_s + A_l$ Pasang Lap. $= \frac{\pi}{4} \times \{(n\ atas + n\ bawah) \times db^2 + n\ tengah \times dbt\}$

$= \frac{\pi}{4} \times \{(4 + 5) \times 19^2 + 2 \times 19\}$

= 3118,816 mm^2

Pengecekan Lentur + Torsi Tumpuan dilihat dari nilai harus memenuhi As + Al Pasang ≥ As + Al Perlu. Pada perhitungan ini mendapatkan nilai 3402,345 $mm^2 \geq$ 2562,852 mm^2. Maka sengkang yang digunakan untuk tumpuan berjumlah

2, berdiameter 13 mm dan spasi 80 mm yaitu 2D13-80. Untuk Pengecekan Lentur + Torsi Lapangan dilihat dari nilai harus memenuhi As + Al Pasang ≥ As + Al Perlu. Telah didapatkan nilai perhitungan yaitu 3118,816 mm^2 ≥ 2716,447 mm^2. Maka sengkang yang digunakan untuk lapangan adalah 2D13-100. Detail dari balok induk terlihat pada Gambar 2.27.



Gambar 2. 27 Detail Balok Induk

2.14. Perancangan Kolom

Kolom adalah elemen struktur vertikal yang berfungsi menahan seluruh beban yang bekerja pada bangunan dan meneruskannya ke fondasi. Perencanaan kolom dilakukan dengan mengacu pada SNI 2847:2019. Berikut ditampilkan perhitungan kolom K1 dengan dimensi (500 × 500) mm. Rekapitulasi gaya dalam pada kolom dapat dilihat pada Tabel 2.17 berikut.

Tabel 2. 18 Output Gaya Dalam Kolom

	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	42,2472	152,4658	111,9619
P min	-3138,2911	-404,2064	-324,1405
M2 Max	-1374,229	551,0191	502,3101
M2 Min	-2321,5826	-429,833	-456,292
M3 Max	-1407,3282	524,4421	493,3694
M3 Min	-2761,1833	-436,1681	-376,4594

L = 4000 mm

b kolom = 500 mm

h kolom = 500 mm

d tulangan = 22 mm

d Sengkang = 13 mm

cc = 40 mm

f_y tulangan = 420 Mpa

f_{yv} tulangan = 280 Mpa

beton (f'c) = 25 Mpa

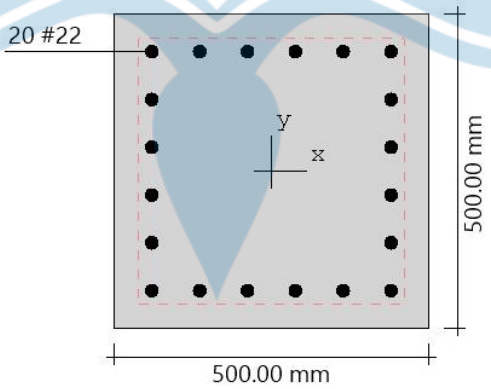
tinggi balok (h_b) = 400 mm

Ln = $L - h_b$

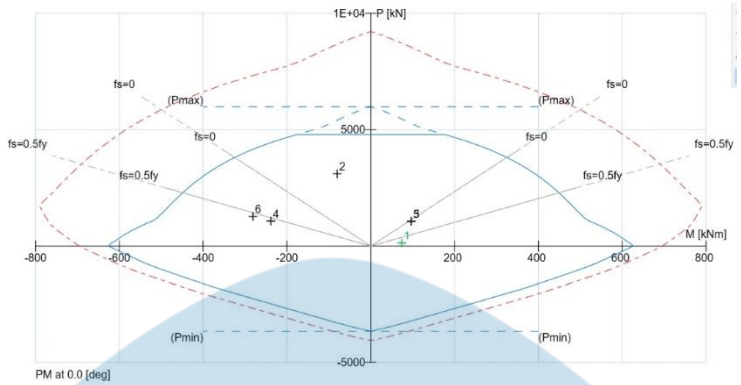
= 4000 – 400

= 3600 mm

Berdasarkan data diatas perencanaan tulangan longitudinal kolom dilakukan dengan bantuan *software SPColumn* dengan asumsi uniaxial, sehingga kolom ditinjau terhadap arah x dan arah y. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *SPColumn* diperoleh kebutuhan tulangan sebesar 20D22. Gambar menunjukkan detail penulangan hasil analisis *SPColumn*, sedangkan diagram interaksi akibat Pu, M_2, dan M_3 ditampilkan pada Gambar 2.23 dan Gambar 2.24.



Gambar 2. 28 Tulangan Longitudinal Kolom



Gambar 2. 29 Tulangan Longitudinal Kolom

Berikut merupakan rekapitulasi nilai $\emptyset M\ n$ kolom akibat Pu, M_2, dan M_3 dari software *SPColum.*

Tabel 2. 19 Output Nilai ØMn Arah X

No.	Demand		Capacity		Parameters at Capacity			Capacity
	P_u	M_{ux}	ϕP_n	ϕM_{nx}	NA Depth	εt	ϕ	Ratio
	kN	kNm	kN	kNm	mm			
1	130,02	73,97	1466,32	495,01	253	0,00221	0,650	0,27
2	3102,65	-80,22	4789,99	-80,22	554	-0,00062	0,650	0,65
3	1059,65	96,55	2298,92	448,17	306	0,00130	0,650	0,38
4	1073,01	-238,42	1845,54	-474,40	276	0,00178	0,650	0,59
5	1059,65	96,55	2298,92	448,17	306	0,00130	0,650	0,38
6	1269,72	-281,11	1893,69	-471,70	279	0,00173	0,650	0,67

Tabel 2. 20 Output Nilai ØMn Arah Y

NO	Demand		Capacity		Parameters at Capacity			Capacity
	P_u	M_{uy}	ϕP_n	ϕM_{ny}	NA Depth	εt	ϕ	Ratio
	kN	kNm	kN	kNm	mm			
1	130,02	64,29	1482,16	494,16	254	0,00219	0,650	0,26
2	3102,65	-84,99	4789,99	-84,99	554	-0,00062	0,650	0,65
3	1059,65	70,80	2408,68	441,39	314	0,00119	0,650	0,34
4	1073,01	-98,27	2304,94	-447,80	307	0,00130	0,650	0,39

5	1059,65	70,80	2408,68	441,39	314	0,00119	0,650	0,34
6	1269,72	-207,59	2128,40	-458,31	294	0,00148	0,650	0,56

Untuk mendapatkan moment nominal kolom perlu membagi $\emptyset M\,n$ dengan $\emptyset$.

$M\,n\,c$ $= \frac{439,89}{0,9}$

$= 488,767$ kNm

$M\,n^{+}$ $= 173,146$ kNm

$M\,n^{-}$ $= 201,102$ kNm

Mengecek SCWB (Strong Column-Weak Beam) :

$2 \times Mnc \geq 1,2 \times (Mn^{-} + Mn^{+})$

$2 \times 488,767 \geq 1,2 \times (201,102 + 173,146)$

$977,533 \geq 449,098$

Karena $977,533 \geq 449,098$ maka kolom telah memenuhi syarat.

Karena ukuran kolom atas dan bawah di *joint* sama (dimensi dan tinggi) maka :

M_{pr} kolom $= 1701,172 \times (1,25 \times 420) \times \left(337,5 \times \frac{140,097}{2}\right)$

$= 238,865$ kNm

Desain Transversal

Tinggi kolom pada muka *joint* atau penampang :

Lo1 = h kolom

Lo1 = 500 mm

Satu per enam dari tinggi bersih Kolom :

Lo2 = Ln/6

Lo2 = 3600/6

Lo2 = 600 mm

Lo3 = 450 mm

Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/ Tumpuan

Jumlah kaki sisi pendek , n1 = 4

Jumlah kaki sisi panjang , n1 = 4

Spasi, s = 50 mm

Spasi kaki terbesar = 350 mm

Luas Penampang Transversal (Ash 1)

$$A_{sh}\ 1 = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times ds^2$$

$$A_{sh}\ 1 = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2$$

$$A_{sh}\ 1 = 530{,}929\ mm^2$$

$$A_{sh}\ 2 = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times ds^2$$

$$A_{sh}\ 2 = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2$$

$$A_{sh}\ 2 = 530{,}929\ mm^2$$

$$A_{sh}/s, 1 = \frac{Ash1}{s}$$

$$A_{sh}/s, 1 = \frac{530{,}929}{80}$$

$$A_{sh}/s, 1 = 6{,}637\ mm^2/mm$$

$$A_{sh}/s, 2 = \frac{Ash2}{s}$$

$$A_{sh}/s, 2 = \frac{530{,}929}{80}$$

$$A_{sh}/s, 2 = 6{,}637\ mm^2/mm$$

***Confinement*/Kekangan Zona Sendi Plastis**

Lebar penampang inti beton, (bc)

$$bc = b - 2Cc$$

$$bc = 500 - 2(40)$$

$$bc = 420\ mm$$

Panjang penampang inti beton, (hc)

$$hc = b - 2Cc$$

$$hc = 500 - 2(40)$$

$$hc = 420\ mm$$

Luas penampang kolom, (Ag)

$$A_g = b \times h$$

$$A_g = 500 \times 500$$

$A_g = 250000\ mm^2$

Luas penampang inti beton, (Ach)

$A_{ch} = bc \times hc$

$A_{ch} = 420 \times 420$

$A_{ch} = 176400\ mm^2$

Menghitung Tahan Geser Beton Sumbu Lemah

$$A_{sh}/s\ min\ 1 = 0{,}3\ \left(\frac{Ag}{Ach} - 1\right)\left(\frac{bc\ fc'}{Fyv}\right)$$

$$A_{sh}/s\ min\ 1 = 0{,}3\ \left(\frac{250000}{176400} - 1\right)\left(\frac{420 \times 25}{280}\right)$$

$A_{sh}/s\ min\ 1 = 4{,}694\ mm^2$

$$A_{sh}/s\ min\ 2 = 0{,}09\ \left(\frac{fc'}{Fyv}\right) \times bc$$

$$A_{sh}/s\ min\ 2 = 0{,}09\ \left(\frac{25}{280}\right) \times 420.$$

$A_{sh}/s\ min\ 2 = 3{,}375\ mm^2$

Cek syarat $= A_{sh}/s = 6{,}637 \geq A_{sh}/s\ min\ 1 = 4{,}694$

$= A_{sh}/s = 6{,}637 \geq A_{sh}/s\ min\ 2 = 3{,}375$

Menghitung Tahan Geser Beton Sumbu Kuat

$$A_{sh}/s\ min\ 1 = 0{,}3 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \times \left(\frac{bc\ fc'}{F_{yv}}\right)$$

$$A_{sh}/s\ min\ 1 = 0{,}3 \times \left(\frac{250000}{176400} - 1\right) \times \left(\frac{420 \times 25}{280}\right)$$

$A_{sh}/s\ min\ 1 = 4{,}694\ mm^2$

$$A_{sh}/s\ min\ 2 = 0{,}09 \times \left(\frac{fc'}{Fyv}\right) \times bc$$

$$A_{sh}/s\ min\ 2 = 0{,}09 \times \left(\frac{25}{280}\right) \times 420.$$

$A_{sh}/s\ min\ 2 = 3{,}375\ mm^2$

Cek syarat $= A_{sh}/s = 6{,}637 \geq A_{sh}/s\ min\ 1 = 4{,}694$

$$= A_{sh}/s \; = \; 6{,}637 \geq \; A_{sh}/s \min 2 = \; 3{,}375$$

Cek Spasi

$$\text{Smax } 1 = \frac{1}{4} \times b$$

$$\text{Smax } 1 = \frac{1}{4} \times 500$$

$$\text{Smax } 1 = 125 \text{ mm}$$

$$\text{Smax } 2 = 6 \text{ db}$$

$$\text{Smax } 2 = 6 \times 22$$

$$\text{Smax } 2 = 132 \text{ mm}$$

$$\text{Smax } 3 = 100 + (\frac{350 - hx}{3})$$

$$\text{Smax } 3 = 100 + (\frac{350 - 300}{3})$$

$$\text{Smax } 3 = 116{,}667 \text{ mm}$$

Nilai maksimal S diambil dari yang terkecil di antara Smax 1, Smax 2, dan Smax 3, sehingga diperoleh S maksimal sebesar 116,667 mm

Spasi yang digunakan adalah 80 mm < 116,667 mm (Aman)

Kuat Geser Zona Sendi Plastis

1. Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

V_u = 213,298 kN

= 213298 N

Φ = 0,75

$V_c = 0{,}17 \times \left(1 + \frac{0{,}19 \times 10^3}{14 \times 500 \times 500}\right) \times \sqrt{25} \times 500 \times \left(\frac{500+40+13+22}{2}\right)$

= 185310 N

= 185,31 kN

$V_s = \frac{213298}{0{,}75} - 185310$

= 99087 N

= 99, 087 kNm

$$\frac{As}{S\ perlu} = \frac{99087}{280 \times \left(\frac{500-40-13-22}{2}\right)}$$

$$= 0{,}8117$$

$$\frac{As}{S\ min\ 1} = \frac{0{,}062 \times \sqrt{25} \times 500}{280}$$

$$= 0{,}5536$$

$$\frac{As}{S\ min\ 2} = \frac{0{,}062 \times \sqrt{25} \times 500}{280}$$

$$= 0{,}6250$$

2. Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$V_u = 213{,}298$ kN

$= 213298$ N

$\Phi = 0{,}75$

$$V_c = 0{,}17 \times \left(1 + \frac{0{,}19 \times 10^3}{14 \times 500 \times 500}\right) \times \sqrt{25} \times 500 \times \left(\frac{500+40+13+22}{2}\right)$$

$= 185310$ N

$= 185{,}31$ kN

$$V_s = \frac{213298}{0{,}75} - 185310$$

$= 99087$ N

$= 99,\ 087$ kNm

$$\frac{As}{S\ perlu} = \frac{99087}{280 \times \left(\frac{500-40-13-22}{2}\right)}$$

$$= 0{,}8117$$

$$\frac{As}{S\ min\ 1} = \frac{0{,}062 \times \sqrt{25} \times 500}{280}$$

$$= 0{,}5536$$

$$\frac{As}{S\ min\ 2} = \frac{0{,}062 \times \sqrt{25} \times 500}{280}$$

$$= 0{,}6250$$

2.15. Hubungan Balok & Kolom

(Suhendi et al., 2020) mengatakan bahwa hubungan Balok–Kolom (HBK) bisa dipahami sebagai bagian yang cukup krusial dalam sistem ketahanan gempa pada struktur beton bertulang. Di titik pertemuan ini, terjadi proses penting seperti penyerapan dan pelepasan energi akibat beban gempa dari arah lateral. Selain itu,

HBK juga berperan dalam meneruskan gaya-gaya tersebut ke elemen struktur utama, sehingga keseluruhan sistem bangunan tetap bisa bekerja dengan baik saat menerima beban gempa.

Hubungan Balok B1 yang Mengikat Kolom K1

1. Properti Material dan Penampang

Lebar Y kolom,(b)	= 500 mm
Lebar X kolom,(h)	= 500 mm
Panjang kolom,(L)	= 4000 mm
Kuat tekan beton,(Fc')	= 25 Mpa
Kuat leleh baja tulangan,(fy)	= 420 Mpa
Faktor beton ringan,(λ)	= 1
Tinggi balok terbesar,(h_b)	= 400
Panjang bersih kolom,(L_n)	= L - hb
	= 3600 mm

2. Data Lebar dan Eksentrisitas Balok

Lebar balok 1, (bb_1)	= 300 mm
Lebar balok 2, (bb_2)	= 300 mm
Lebar balok 3, (bb_3)	= 300 mm
Lebar balok 4, (bb_4)	= 300 mm
Lebar bersih kolom (x_1a)	= ($h-bb_1$)/2
	= (500-30)/2
	= 100 mm
Lebar bersih kolom (x_1b)	= ($h-bb_1$)/2
	= (500-300)/2
	= 100 mm
Cek lebar sisi kolom 1	= $bb_1 + x_1a + x_1b$
	= 300 + 100 + 100
	= 500 mm
Lebar bersih kolom (x_2a)	= (h-bb2)/2
	= (500-300)/2
	= 100 mm
Lebar bersih kolom (x2b)	= ($h-bb_2$)/2

= (500-300)/2

= 100 mm

Cek lebar sisi kolom 1 = $bb_2 + x_2a + x_2b$

= 300 + 100 + 100

= 500 mm

Lebar bersih kolom (x_3a) = $(h-bb_3)/2$

= (500-300)/2

= 100 mm

Lebar bersih kolom (x_3b) = $(h-bb_3)/2$

= (500-300)/2

= 100 mm

Cek lebar sisi kolom 1 = $bb_3 + x_3a + x_3b$

= 300 + 100 + 100

= 500 mm

Lebar bersih kolom (x_4a) = $(h-bb_4)/2$

= (500-300)/2

= 100 mm

Lebar bersih kolom (x_4b) = $(h-bb_4)/2$

= (500-300)/2

= 100 mm

Cek lebar sisi kolom 1 = $bb_4 + x_1a + x_1b$

= 300 + 100 + 100

= 500 mm

3. Dimensi *Joint*

x terkecil sisi 1,(x_1) = 100 mm

x terkecil sisi 2,(x_2) = 100 mm

x terkecil sisi 3,(x_3) = 100 mm

x terkecil sisi 4,(x_4) = 100 mm

Lebar *joint* sisi 1,(bj_1) = 500 mm

Lebar *joint* sisi 2,(bj_2) = 500 mm

Lebar *joint* sisi 3,(bj_3) = 500 mm

Lebar *joint* sisi 4,(bj_4) = 500 mm

Lebar efektif *joint* Y,(bj) = ambil lebar terkecil dari bj_1 & bj_2

= 500 mm

Lebar efektif *joint* X,(hj) = ambil lebar terkecil dari bj_3 & bj_4

= 500 mm

Luas efektif *joint* gempa X,(ajx) = bj × h

= 500 x 500

= 250000 mm

Luas efektif *joint* gempa X,(ajx) = hj × h

= 500 × 500

= 250000 mm

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.8.2.4 Tinggi *joint* h tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok-balok yang merangka pada *joint* tersebut

Maka :

Hj ≥ 1/2 h_b = 500 ≥ 1/2 500

= 500 ≥ 250 (AMAN)

4. Data dan gaya tulangan balok

Diameter tulangan utama balok db = 19 mm

Cek dimensi kolom

Syarat b ≥ $20d_b$ (SNI 2847:2019 ps 18.8.2.3)

b = 500 ≥ 20 (19)

= 500 mm (AMAN)

Tulangan atas balok 1,(As^-1) = 1417,644 mm^2

Tulangan bawah balok 1,(As^+1) = 850,586 mm^2

Tulangan atas balok 2,(As^-2) = 1417,644 mm^2

Tulangan bawah balok 2,(As^+2) = 850,586 mm^2

Tulangan atas balok 3,(As^-3) = 1417,644 mm^2

Tulangan bawah balok 3,(As^+3) = 850,586 mm^2

Tulangan atas balok 4,(As^-4) = 1417,644 mm^2

Tulangan bawah balok 4,(As^+4) = 850,586 mm^2

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.8.2.1 Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka *joint* harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah 1,25fy.

Tegangan probabilitas (f_{pr}) = 1,25 F_y

= 1,25 × 420

= 525 Mpa

Gaya tulangan atas balok 1, ($fs^{-}1$) = As × f_{pr}

= 1417,644 × 525

= 744263 N

Gaya tulangan bawah balok 1($fs^{+}1$) = As × f_{pr}

= 850,586 × 525

= 446558 N

Gaya tulangan bawah balok 2($fs^{-}2$) = As × f_{pr}

= 1417,644 × 525

= 744263 N

Gaya tulangan bawah balok 2($fs^{+}2$) = As × f_{pr}

= 850,586 × 525

= 446558 N

Gaya tulangan atas balok 3, ($fs^{-}3$) = As × f_{pr}

= 1417,644 × 525

= 744263 N

Gaya tulangan bawah balok 3($fs^{+}3$) = As × f_{pr}

= 850,586 × 525

= 446558 N

Gaya tulangan atas balok 4, ($fs^{-}4$) = As × fpr

= 1417,644 × 525

= 744263 N

Gaya tulangan bawah balok 4($fs^{+}4$) = As × f_{pr}

= 850,586 × 525

= 446558 N

5. Gaya geser akibat balok

Geser ketika arah gempa X- = $Fs^{-}3 + C4 = Fs^{-}3 + fs^{+}4$

= 744263 + 446558

= 1190821 N

Geser ketika arah gempa X+ = $Fs^{+}4 + C3 = Fs^{-}4 + fs^{+}3$

= 744263 + 446558

= 1190821 N

Geser ketika arah gempa Y- $= Fs^{-}1 + C2 = Fs^{-}1 + fs^{+}2$

= 744263 + 446558

= 1190821 N

Geser ketika arah gempa Y+ $= Fs^{-}2 + C1 = Fs^{-}2 + fs^{+}1$

= 744263 + 446558

= 1190821 N

6. Gaya Geser Kolom

Mpr^{-} balok 1 = 135072943,5729 Nmm

Mpr^{+} balok 1 = 207743460,7531 Nmm

Mpr^{-} balok 2 = 135072943,5729 Nmm

Mpr^{+} balok 2 = 207743460,7531 Nmm

Mpr^{-} balok 3 = 135072943,5729 Nmm

Mpr^{+} balok 3 = 207743460,7531 Nmm

Mpr^{-} balok 4 = 135072943,5729 Nmm

Mpr^{+} balok 4 = 207743460,7531 Nmm

Ve balok 1 = 12987320232 N

Ve balok 2 = 12987320232 N

Ve balok 3 = 12987320232 N

Ve balok 4 = 12987320232 N

Geser kolom Ketika arah gempa X- :

$$= \frac{\left[(Mpr^{+}4 + Mpr^{-}3) + (Ve3 + Ve4)\frac{1}{2}h\right]}{Ln}$$

$$= \frac{[(207743460{,}7531 + 135072943{,}5729) + (672548{,}964 + 12987320232)x\frac{1}{2}x\,500]}{3600}$$

$$= 113265\ N$$

Geser kolom Ketika arah gempa X+ :

$$= \frac{\left[(\text{Mpr}^{+}3 + \text{Mpr}^{-}4) + (\text{Ve3} + \text{Ve4})\frac{1}{2}\text{h}\right]}{\text{Ln}}$$

$$= \frac{[(207743460{,}7531 + 135072943{,}5729) + (672548{,}964 + 12987320232)x\frac{1}{2}x\,500]}{3600}$$

$$= 113265\ N$$

Geser kolom Ketika arah gempa Y- :

$$= \frac{\left[(\text{Mpr}^{+}2 + \text{Mpr}^{-}1) + (\text{Ve3} + \text{Ve4})\frac{1}{2}\text{h}\right]}{\text{Ln}}$$

$$= \frac{[(207743460{,}7531 + 135072943{,}5729) + (672548{,}964 + 12987320232)x\frac{1}{2}x\,500]}{3600}$$

$$= 113265\ N$$

Geser kolom Ketika arah gempa Y+ :

$$= \frac{\left[(\text{Mpr}^{+}1 + \text{Mpr}^{-}2) + (\text{Ve3} + \text{Ve4})\frac{1}{2}\text{h}\right]}{\text{Ln}}$$

$$= \frac{[(207743460{,}7531 + 135072943{,}5729) + (672548{,}964 + 12987320232)x\frac{1}{2}x\,500]}{3600}$$

$$= 113265\ N$$

7. Gaya geser total *joint*

Geser *joint* ketika arah gempa X- $= \text{Fs} + \text{C} - \text{Vcol}$

$= 1190821 - 113265$

$= 1077556$ N

Geser *joint* ketika arah gempa X+ $= \text{Fs} + \text{C} - \text{Vcol}$

$= 1190821 - 113265$

$= 1077556$ N

Geser *joint* ketika arah gempa Y- $= \text{Fs} + \text{C} - \text{Vcol}$

$= 1190821 - 113265$

$= 1077556$ N

Geser *joint* ketika arah gempa Y- $= \text{Fs} + \text{C} - \text{Vcol}$

$= 1190821 - 113265$

= 1077556 N

8. Kuat geser *joint*

Mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.2, suatu sisi *joint* bisa dianggap terkekang oleh balok jika lebar balok tersebut minimal mencapai tiga perempat dari lebar efektif *joint*. Selain itu, bagian balok yang memanjang melewati muka *joint* dengan panjang setidaknya sama dengan tinggi balok (h) juga dapat berfungsi sebagai pengekang pada area tersebut. Namun, agar benar-benar efektif, perpanjangan balok itu tetap harus memenuhi ketentuan yang berlaku.

Konfigurasi *joint* = 0

Faktor pengali kuat geser,(c) = 1

Kuat geser nominal joint gempa X,V_{nx} $= c \times \lambda \times \sqrt{fc} \times Ajx$

$= 1 \times 1 \times \sqrt{25} \times 250000$

$= 1250000\ N$

Kuat geser nominal *joint* gempa Y,V_{ny} $= c \times \lambda \times \sqrt{fc} \times Ajy$

$= 1 \times 1 \times \sqrt{25} \times 250000$

$= 1250000\ N$

Ø (SNI 2847:2019 ps 21.2.4.3) = 1

Kuat geser nominal *joint* gempa X,ØV_{nx} $= 1 \times 1250000$

$= 1250000\ N$

Kuat geser nominal *joint* gempa Y,ØV_{ny} $= 1 \times 1250000$

$= 1250000\ N$

Gaya geser *joint* gempa X,V_{ux}, = 1077556 N

Gaya geser *joint* gempa Y,V_{ux}, = 1077556 N

Faktor keamanan gempa X,(Sfx) $= \frac{\text{ØVnx}}{\text{Vux}}$

$= \frac{1250000}{1077556}$

$= 1{,}160$

Faktor keamanan gempa X,(Sfx) $= \frac{\text{ØVny}}{\text{Vuy}}$

$= \frac{1250000}{1077556}$

$= 1{,}160$

Cek kuat geser *joint* $= Sf > 1$

$= 1{,}160 > 1$ gempa X (Aman)

$= Sf > 1$

$= 1{,}160 > 1$ gempa Y (Aman)

9. Panjang penyaluran tarik

Berdasarkan SNI 2847:2019 ps 18.8.5.1 panjang penyaluran untuk beton normal tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara $8d_b$ dan 150 mm.

Idh $= \frac{\text{Fy db}}{5{,}4\ \lambda\sqrt{\text{Fc}}}$

$= \frac{420\text{x } 19}{5{,}4\ 1\sqrt{25}}$

$= 295{,}556$ mm

Idh min 1 = 8 db

$= 8 \times 25$

$= 200$ mm

Idh min 2 = 150 mm

Idh Pakai = 295,556 mm