

BAB V

ANALISIS DAN DESAIN

5.1 Analisis Beban Gempa

Gedung yang dirancang berlokasi di Jl. Prof. DR. Sardjito, Terban, Yogyakarta, atau dengan letak koordinat Lat: -7,778630 , Long: 110,371426. Seluruh data parameter tanah diperoleh dari website http://puskim.pu.go.id//Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/. Jenis tanah adalah tanah keras berdasarkan informasi dari pihak kontraktor pelaksana pembangunan.

5.1.1. Parameter Desain Spektra

Berdasarkan website tentang desain spektra yang sudah diakses, maka didapatkan hasil parameter sebagai berikut:

- a. Nilai S_s dan S_l

$$S_s = 1,182$$

$$S_l = 0,436$$

- b. Kelas Situs

Berdasarkan data yang diperoleh dari kontraktor pelaksana pembangunan, didapatkan data bahwa kelas situs tanah termasuk SC (tanah keras).

- c. Koefisien Situs

$$F_a = 1$$

$$F_v = 1,436$$

- d. Parameter percepatan spektra respons pada S_{MS} dan S_{M1} berdasarkan MCER

$$S_{MS} = 1,182$$

$$S_{M1} = 0.594$$

- e. Nilai S_{DS} dan S_{D1}

$$S_{DS} = 0,788$$

$$S_{D1} = 0,396$$

- f. Kategori Resiko

Berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 1, gedung yang dirancang termasuk kedalam kategori resiko II.

- g. Kategori Desain Seismik (KDS)

Penentuan KDS ditinjau dari nilai SDS dan SD1 berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 6 dan tabel 7.

1) Berdasarkan SDS : KDS = D

2) Berdasarkan SD1 : KDS = D

Dipakai nilai KDS = D

- h. Sistem Struktur dan Parameter Struktur Berdasarkan KDS

Sistem struktur yang digunakan berdasarkan KDS D adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

$$R = 8$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_0 = 3$$

5.1.2. Desain Respon Spektrum

Nilai T_0 dan T_s didapatkan dari rumus berikut:

$$T_0 = 0,2 \times \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right)$$

$$= 0,2 \times \left(\frac{0,396}{0,788} \right) = 0,101$$

$$T_s = \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right)$$

$$= \left(\frac{0,396}{0,788} \right) = 0,503$$

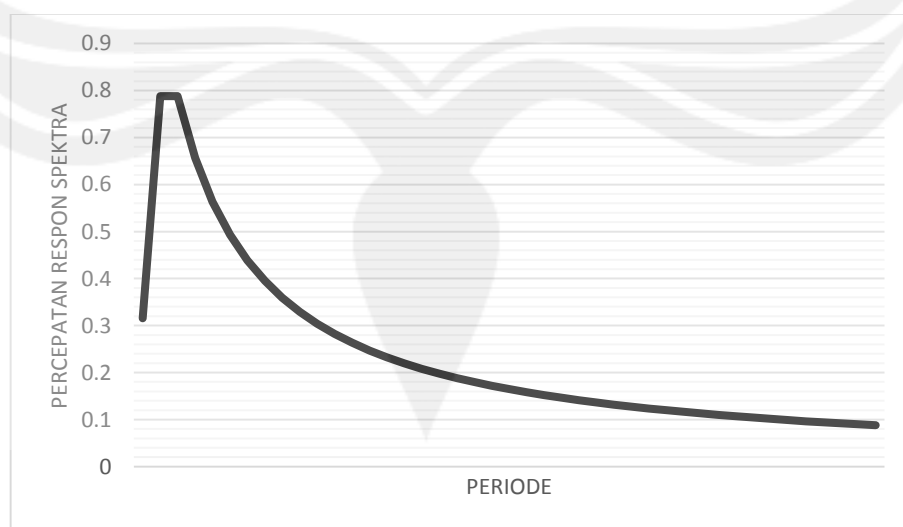
Untuk hasil respon spectrum sampai dengan periode 4s dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 5.1 Desain Respon Spektrum

Desain Respon Spektra			
$T=T_s+n$	$S_a= S_{D1}/T$	$T=T_s+n$	$S_a= S_{D1}/T$
0	0,3152	2,203	0,1797
0,101	0,788	2,303	0,1719
0,503	0,788	2,403	0,1648
0,603	0,6567	2,503	0,1852
0,703	0,5633	2,603	0,1521
0,803	0,4932	2,703	0,1465

Tabel 5.1 Desain Respon Spektrum

0,903	0,4385	2,803	0,1413
1,003	0,3948	2,903	0,1364
1,103	0,3590	3,003	0,1319
1,203	0,3291	3,103	0,1276
1,303	0,3039	3,203	0,1236
1,403	0,2822	3,303	0,1198
1,503	0,2634	3,403	0,1164
1,603	0,2470	3,503	0,1130
1,703	0,2325	3,603	0,1099
1,803	0,2196	3,703	0,1069
1,903	0,2080	3,803	0,1041
2,003	0,1977	3,903	0,1014
2,103	0,1883	4,003	0,0989



Gambar 5.1 Grafik Respon Spektrum

Nilai n untuk nilai $T > T_s$

$$n = 0,1$$

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + \frac{0,6T}{T_0} \right)$$

Untuk T_0 dan T_s diambil nilai sebesar S_{DS}

Untuk $T > T_s$ diambil nilai sebesar S_{D1}/T

5.1.3. Faktor Keutamaan Gempa

Sesuai SNI 1726:2012 Tabel 2 dan kategori resiko II, maka factor keutamaan gempa $I_e = 1$

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 11.1.4, parameter respon spectrum dikalikan dengan factor pembesar sebesar I_e/R , dengan nilai $R = 8$. Pada input di *ETABS* perlu melakukan konversi nilai factor pembesar dengan gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$.

5.1.4. Periode Fundamental

Setelah dilakukan permodelan struktur pada program *ETABS* didapat hasil periode fundamental struktur arah x sebesar 2,400256, sedangkan arah y sebesar 2,441371. Sesuai dengan SNI 1726:2012, nilai getar fundamental struktur tidak boleh melebihi batasan atas periode yang dihitung.

Tinggi gedung yang dirancang yaitu 37,95 m. nilai $C_u = 1,4$, sedangkan nilai $C_t = 0,0466$ dan nilai $x = 0,9$ (SNI 1726:2012 Tabel 14 dan 15).

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

$$T_a = 0,0466 \times (37,95^{0,9})$$

$$T_a = 1,229353$$

Batasan waktu getar

$$C_u T_a = 1,4(1,229353)$$

$$C_u T_a = 1,721$$

$$T_a < T_{com} < C_u T_a$$

Karena nilai T_{com} melebihi batasan waktu getar, maka dipakai nilai $C_u T_a$.

Nilai koefisien respon gempa

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,788}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0985$$

Tidak boleh melebihi nilai

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,396}{1,721 \left(\frac{8}{1} \right)} = 0,028761$$

Dan tidak boleh kurang dari

$$C_{s \min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e$$

$$C_{s \min} = 0,044 \times 0,788 \times 1 = 0,034672 \text{ atau } C_{s \min} = 0,01$$

C_s dipakai untuk arah x dan y = 0,034672

5.1.5. Gaya Gempa Statik dan Dinamik

a. Gaya Gempa Statik

Berat total bangunan yang didapatkan dari analisis *ETABS* yaitu sebesar 273540,8 kN, sedangkan gaya gempa static dapat dihitung otomatis oleh *ETABS* dengan hasil pada tabel dibawah ini.

Tabel 5.2 Gaya Gempa Statik

Gaya Gempa		F_x (kN)	F_y (kN)
Statik	EX	8042.94	0
	EY	0	8042.94

Sedangkan untuk distribusi beban gempa statik per lantai dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.3 Distribusi Beban Gempa Per Lantai Arah x dan y

Lantai	Tinggi (m)	Berat (kN)	Whk	Cv	F (kN)	V (kN)
Atap Lift	37.95	1520.57	2189929	0.018228	146.6081	146.6081
Atap	35.45	16984.51	21344476	0.177664	1428.938	1575.546
Lantai 9	31.95	23604.95	24095992	0.200566	1613.142	3188.688
Lantai 8	28.85	23604.93	19646914	0.163534	1315.292	4503.981
Lantai 7	25.75	23604.94	15651551	0.130278	1047.817	5551.797
Lantai 6	22.65	23604.96	12109876	0.100798	810.7138	6362.511
Lantai 5	19.55	24889.83	9512955	0.079182	636.8591	6999.37
Lantai 4	16.45	24889.81	6735245	0.056062	450.9011	7450.271
Lantai 3	13.35	24889.84	4435930	0.036923	296.97	7747.241
Lantai 2	10.25	31018.42	3258873	0.027126	218.1701	7965.411
Lantai Dasar	5.75	28840.7	953545.6	0.007937	63.83655	8029.248
Basement 1	2.8	26087.34	204524.7	0.001702	13.69222	8042.94

b. Gaya Gempa Dinamik

Besarnya gaya gempa dinamik diperoleh dari analisis *ETABS* dan dapat dilihat ada tabel dibawah.

Tabel 5.4 Gaya Gempa Dinamik

Beban Gempa	Arah x (kN)	Arah y (kN)
SPEC X	6836.5	27.45
SPEC Y	27.08	6836.5

Berdasarkan SNI 1727:2012 Pasal 7.9.4.1, apabila kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar (V), maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 \frac{V}{V_t}$. Nilai perbandinganya dapat dilihat pada tabel 5.5

Berdasarkan data pada tabel 5.5, maka nilai gaya geser dinamik memenuhi 85 persen dari gaya geser static.

Tabel 5.5 Gaya Gempa Statik dan Dinamik

Gaya Gempa		Fx (kN)	Fy (kN)	85% Statik X	85% Statik Y
Statik	EX	8042.94	0	6836.499	0
	EY	0	8042.94	0	6836.499
Dinamik	Spec X	6836.5	27.45		
	Spec Y	27.08	6836.5		

5.1.6 Partisipasi Massa

Pasal 7.9.1 SNI 1726:2012 menyatakan bahwa analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami suatu struktur. Analisis harus menyertakan

jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkomninasasi paling sedikit 90 persen dari massa aktual. Data partisipasi massa dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.6 Partisipasi Massa

Mode	Periode	Sum UX	Sum UY
1	2.441371	0.025	69.3695
2	2.400256	71.4661	69.3958
3	2.21413	71.5032	69.4493
4	0.685548	83.1868	69.4497
5	0.666841	83.1869	82.4482
6	0.625286	83.1942	82.4699
7	0.328852	88.7331	82.47
8	0.301974	88.7333	88.5586
9	0.292277	88.7588	88.5604
10	0.186926	91.9616	88.5604
11	0.166206	91.9616	91.9069
12	0.163822	91.9858	91.919
13	0.121867	94.9937	91.919
14	0.106461	94.9947	94.8151
15	0.105607	95.0154	95.0064
16	0.088077	96.8136	95.0064
17	0.076242	96.8143	96.6849
18	0.075942	96.8227	96.8764
19	0.065855	97.4852	96.8764
20	0.05664	97.4882	96.8969
21	0.056353	97.4883	97.5686
22	0.052402	97.6697	97.5686
23	0.044893	97.8159	97.5686
24	0.043464	97.8278	97.5707
25	0.042741	97.8279	97.8037
26	0.037431	97.8314	97.8081
27	0.03688	97.9899	97.8088
28	0.035851	97.9908	97.9066

Tabel 5.6 Partisipasi Massa

29	0.032291	98.0158	97.9138
30	0.031554	98.9838	97.9145
31	0.031378	98.9852	98.0656
32	0.02938	99.9923	98.0657
33	0.027549	99.997	98.5628

5.1.7 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.12.1.1, bangunan dengan kategori desain seismik D harus memperhatikan nilai simpangan antar lantai, dimana nilainya tidak boleh melebihi Δ_a / ρ , dimana factor rendudansi $\rho = 0,3$ sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.3.4.2. Bangunan dengan kategori resiko II, nilai simpangan antar lantai izin Δ_a diambil dengan $\Delta_a = 0,002h_{sx}$, sesuai dengan SNI 1727212 tabel 16. Hasil simpangan antar lantai dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.7 Simpangan Antar Lantai Arah x

Lantai	h_{sx}	δ_{ex}	Δ	Δ_e	Δ_e/ρ	Keterangan
LANTAIATAP	3.5	65.945	4.545	24.9975	53.84615	aman
LANTAI9	3.1	61.4	4.711	25.9105	47.69231	aman
LANTAI8	3.1	56.689	5.524	30.382	47.69231	aman
LANTAI7	3.1	51.165	6.351	34.9305	47.69231	aman
LANTAI6	3.1	44.814	7.116	39.138	47.69231	aman
LANTAI5	3.1	37.698	7.548	41.514	47.69231	aman
LANTAI4	3.1	30.15	7.691	42.3005	47.69231	aman
LANTAI3	3.1	22.459	7.496	41.228	47.69231	aman
LANTAI2	4.5	14.963	9.418	51.799	69.23077	aman
LANTAI DASAR	2.95	5.545	4.05	22.275	45.38462	aman
BASEMENT1	2.8	1.495	1.495	8.2225	43.07692	aman

Tabel 5.8 Simpangan Antar Lantai Arah y

Lantai	h_{sx}	δ_{ex}	Δ	Δ_e	Δ_e/ρ	Keterangan
LANTAIATAP	3.5	69.16	6.084	33.462	53.84615	aman
LANTAI9	3.1	63.076	5.883	32.3565	47.69231	aman
LANTAI8	3.1	57.193	6.472	35.596	47.69231	aman
LANTAI7	3.1	50.721	7.053	38.7915	47.69231	aman
LANTAI6	3.1	43.668	7.544	41.492	47.69231	aman
LANTAI5	3.1	36.124	7.751	42.6305	47.69231	aman
LANTAI4	3.1	28.373	7.665	42.1575	47.69231	aman
LANTAI3	3.1	20.708	7.211	39.6605	47.69231	aman
LANTAI2	4.5	13.497	8.594	47.267	69.23077	aman
LANTAI DASAR	2.95	4.903	3.592	19.756	45.38462	aman
BASEMENT1	2.8	1.311	1.311	7.2105	43.07692	aman

5.1.8 Pengaruh P-Delta

SNI 1726:2012 Pasal 7.8.7 menyatakan bahwa pengaruh P-delta tidak disyaratkan untuk dihitung apabila koefisien stabilitas (θ) sama dengan atau kurang dari 0,1, dan koefisien stabilitas tidak boleh melebihi θ maks. Hasil perhitungan koefisien stabilitas data dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.9 Pengaruh P-Delta arah x

Lantai	P_x	h_{sx}	Δ_e	V_x	θ	θ_{maks}
Atap	18505.08	3.5	24.9975	1755.4	0.015456	0.090909
Lantai 9	42110.03	3.1	25.9105	2832.74	0.022591	0.090909
Lantai 8	65714.96	3.1	30.382	3480.01	0.033649	0.090909
Lantai 7	89319.9	3.1	34.9305	3892.43	0.047012	0.090909
Lantai 6	112924.9	3.1	39.138	4250.98	0.060978	0.090909
Lantai 5	137814.7	3.1	41.514	4590.67	0.073095	0.090909
Lantai 4	162704.5	3.1	42.3005	4940.33	0.081708	0.090909
Lantai 3	187594.3	3.1	41.228	5370.43	0.084465	0.090909
Lantai 2	218612.8	3.1	51.799	6018.45	0.076022	0.090909
Lantai Dasar	247453.5	4.5	22.275	6587.83	0.051568	0.090909

Tabel 5.10 Pengaruh P-Delta arah y

Lantai	P_x	h_{sx}	Δ_e	V_y	θ	θ_{maks}
Atap	18505.08	3.5	33.462	1820.58	0.019948	0.090909
Lantai 9	42110.03	3.1	32.3565	2893.01	0.027623	0.090909
Lantai 8	65714.96	3.1	35.596	3484.52	0.039373	0.090909
Lantai 7	89319.9	3.1	38.7915	3823.07	0.053155	0.090909
Lantai 6	112924.9	3.1	41.492	4119.16	0.066715	0.090909
Lantai 5	137814.7	3.1	42.6305	4425.02	0.077871	0.090909
Lantai 4	162704.5	3.1	42.1575	4779.66	0.084169	0.090909
Lantai 3	187594.3	3.1	39.6605	5258.81	0.082979	0.090909
Lantai 2	218612.8	3.1	47.267	5979.96	0.069817	0.090909
Lantai Dasar	247453.5	4.5	19.756	6587.47	0.045739	0.090909

5.2 Perencanaan Pelat

5.2.1. Pelat Satu Arah

Data yang digunakan:

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 300 \text{ MPa untuk diameter} < 12 \text{ mm}$$

Tulangan rencana ulir diameter 10 mm

Tebal pelat = 150 mm

Pembebanan pelat:

$$\text{Beban mati : Pelat lantai 150mm} = 0.15 \times 24 = 3.6 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{MEP} = 0.25 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{DL} = 3.85 \text{ kN/m}^2$$

Beban hidup:

$$Q_{LL} = 4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_u = 1.2 (3.85) + 1.6 (4) = 11.02 \text{ kN/m}^2$$

Cek gaya geser

$$V_u = \frac{1}{2} \times Q_u \times L_n$$

$$L_n = 3.7 - \frac{0.4}{2} - \frac{0.4}{2} = 3.3m$$

$$V_u = \frac{1}{2} \times 11.02 \times 3.3 = 18.183kN$$

Cek kuat geser beton

$$d_{s \text{ asumsi}} = 40 \text{ mm}$$

$$d_{\text{asumsi}} = 150 - 40 = 110 \text{ mm}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times 1 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 110 = 100.4158kN$$

$$\Phi = 0.75 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 21.6.5.1)}$$

$$\Phi V_c = 0.75 \times 100.4158 = 75.3118 \text{ kN}$$

$$\Phi V_c > V_u \text{ aman}$$

Momen untuk pelat satu arah dapat diambil dengan pendekatan dari SNI

2847:2013 Pasal 8.33

$$Mu \text{ lapangan} = \frac{Q_u \times L_n^2}{16}$$

$$\text{Mu lapangan} = \frac{11.02 \times 3.3^2}{16} = 7.5 \text{ kNm}$$

$$\text{Mu tumpuan} = \frac{Q_u \times L_n^2}{11}$$

$$\text{Mu tumpuan} = \frac{11.02 \times 3.3^2}{11} = 10.91 \text{ kNm}$$

Tulangan tumpuan

$$\rho_{min} = 0.002 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.1)}$$

$$\phi = 0.9 \text{ (dianggap terkendali tarik, SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.1)}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$Rn = \frac{10.91 \times 10^6}{0.9 \times 1000 \times 110^2} = 1.001818$$

$$\rho = \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0.85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho = \frac{0.85 \cdot 30}{300} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1.001818}{0.85 \times 30}} \right) = 0.0034$$

$$A_{s \min} = \rho_{min} \times b \times h$$

$$A_{s \min} = 0.002 \times 1000 \times 150 = 300 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \rho \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0.0034 \times 1000 \times 110 = 374.8472 \text{ mm}^2$$

$A_s > A_{s \min}$, dipakai A_s

$$S = \frac{b_w \times A_s D_{10}}{A_s}$$

$$S = \frac{1000 \times 0.25 \times \pi \times 10^2}{374.8472} = 209.5248 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm atau } S_{\max} = 450 \text{ mm (SNI 2847:2013 Pasal 7.6.5)}$$

Dipakai tulangan D10-200

Cek kekuatan momen nominal desain pelat

$$d_{\text{aktual}} = 150 - 20 - (0.5 \times 10) = 125 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{1000 \times A_s D_{10}}{S}$$

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{1000 \times 0.25 \times \pi \times 10^2}{200} = 392.699 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ aktual}} > A_s \text{ Ok}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{392,699 \times 300}{0,85 \times 30 \times 1000} = 4,62$$

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

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7}(f'_c - 28)$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7}(30 - 28)$$

$$\beta_1 = 0.836$$

$$c = \frac{4,62}{0.836} = 5,5263$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0.003$$

$$\varepsilon_t = \frac{125 - 5,5263}{5,5263} \times 0,003 = 0,00648$$

$$\varepsilon_t > 0,005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$

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

$$M_n = 392,699 \times 300 \left(125 - \frac{4,62}{2} \right) = 14,454 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 14,454$$

$$\phi M_n = 13,0087 \text{ kN}$$

$$\phi M_n > M_u \text{ aman}$$

Tulangan lapangan

$$\rho_{min} = 0.002 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.1)}$$

$$\phi = 0.9 \text{ (dianggap terkendali tarik, SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.1)}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$Rn = \frac{7,5 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 110^2} = 0,68875$$

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

$$\rho = \frac{0,85 \cdot 30}{300} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,68875}{0,85 \times 30}} \right) = 0,002327$$

$$A_{s \min} = \rho_{min} \times b \times h$$

$$A_{s \min} = 0,002 \times 1000 \times 150 = 300 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \rho \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0,002327 \times 1000 \times 110 = 256,0475 \text{ mm}^2$$

$$A_s < A_{s \min}, \text{ dipakai } A_{s \min}$$

$$S = \frac{b_w \times A_s D_{10}}{A_s}$$

$$S = \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{300} = 261,667 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm atau } S_{max} = 450 \text{ mm (SNI 2847:2013 Pasal 7.6.5)}$$

Dipakai tulangan D10-200

Cek kekuatan momen nominal desain pelat

$$d_{aktual} = 150 - 20 - (0.5 \times 10) = 125 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{1000 \times A_s D10}{S}$$

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{200} = 392,699 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ aktual}} > A_s \text{ Ok}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{392,699 \times 300}{0.85 \times 30 \times 1000} = 4,62$$

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

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7} (f'_c - 28)$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7} (30 - 28)$$

$$\beta_1 = 0.836$$

$$c = \frac{4,62}{0,836} = 5,5263$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{125 - 5,5263}{5,5263} \times 0,003 = 0,0648$$

$$\varepsilon_t > 0,005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0.9$

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

$$M_n = 392,699 \times 300 \left(125 - \frac{4,62}{2} \right) = 14,454 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 14,454$$

$$\phi M_n = 13,008 \text{ kN}$$

$$\phi M_n > M_u \text{ aman}$$

Perhitungan tulangan susut dan suhu

$$\rho_{min} = 0,002 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.1)}$$

$$A_{s \min} = \rho_{min} \times b_w \times h$$

$$A_{s \min} = 0.002 \times 1000 \times 150 = 300 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{b_w \times A_s D10}{A_s}$$

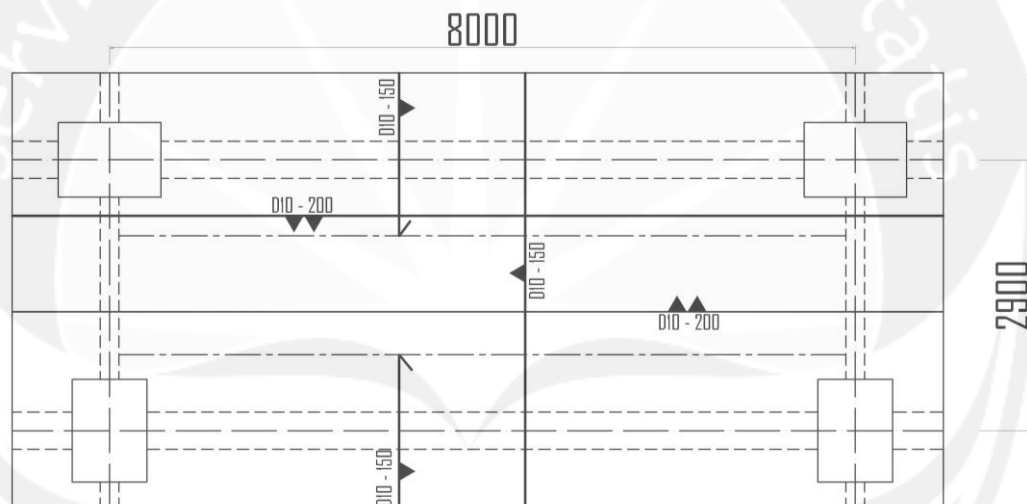
$$S = \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{300} = 261,79 \text{ mm}$$

Digunakan D10-200

$$A_{spakai} = \frac{b_w \times A_s D10}{S}$$

$$A_{spakai} = \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{200} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$S_{max} = 3 \times h = 3 \times 150 = 450 \text{ mm atau } S_{max} = 450 \text{ mm (SNI 2847:2013 Pasal 7.6.5)}$$



Gambar 5.2 Penulangan Pelat Satu Arah

5.2.2. Pelat Dua Arah

Data yang digunakan:

$$f'c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 300 \text{ MPa untuk diameter } < 12 \text{ mm}$$

Tulangan rencana ulir diameter 10 mm

Tebal Pelat = 120 mm

Pembebanan pelat

Beban mati : pelat 120 mm = $0.12 \times 24 = 2.88$ kN

Pasir 30 mm = $0.03 \times 14 = 0.42$ kN

Ubin dan spesi 50 mm = $0.05 \times 22 = 1.1$ kN

Plafon dan penggantung = 0.18 kN

MEP = 0.25 kN

$Q_{DL} = 4.83$ kN

Beban hidup :

$Q_{LL} = 1.92$ kN

$Q_U = 1.2 (4.83) + 1.6 (1.92) = 8.868$ kNm

Cek gaya geser

$$V_u = \frac{1.15 \times Q_u \times L_n}{2}$$

$$V_u = \frac{1.15 \times 8.868 \times 5}{2} = 25.4955 \text{ kN}$$

Cek kuat geser beton

$d_{\text{asumsi}} = 40$ mm

$d_{\text{asumsi}} = 120 - 40 = 80$ mm

$$V_c = 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0.17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 80 = 74.49 \text{ kN}$$

$$\Phi = 0.75 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 21.6.5.1)}$$

$$\Phi V_c = 0.75 \times 74.49 = 55.867 \text{ kN}$$

$$\Phi V_c > V_u \text{ aman}$$

Perhitungan momen pelat dua arah berdasarkan PBI 1971 yang dapat dilihat pada Lampiran C.1.

$$L_y/L_x = 1.35$$

$$M_{lx} = 0.001 \times Q_u \times L_x^2 \times k ; \text{berdasarkan tabel didapatkan nilai } k = 51.5$$

$$M_{ly} = 0.001 \times Q_u \times L_x^2 \times k ; \text{berdasarkan tabel didapatkan nilai } k = 38$$

$$-M_{tx} = 0.001 \times Q_u \times L_x^2 \times k ; \text{berdasarkan tabel didapatkan nilai } k = 51.5$$

$$-M_{ty} = 0.001 \times Q_u \times L_x^2 \times k ; \text{berdasarkan tabel didapatkan nilai } k = 38$$

Maka momen dapat dihitung setelah didapatkan nilai k

$$M_{lx} = 0.001 \times 8.868 \times 4^2 \times 51.5 = 7.3072 \text{ kNm}$$

$$M_{ly} = 0.001 \times 8.868 \times 4^2 \times 38 = 5.3917 \text{ kNm}$$

$$M_{tx} = 0.001 \times 8.868 \times 4^2 \times 51.5 = 7.3072 \text{ kNm}$$

$$M_{ty} = 0.001 \times 8.868 \times 4^2 \times 38 = 5.3917 \text{ kNm}$$

Perhitungan tulangan lentur arah x

$$\rho_{min} = 0.002 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.1)}$$

$$\phi = 0.9 \text{ (dianggap terkendali tarik, SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.1)}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$Rn = \frac{7.3072 \times 10^6}{0.9 \times 1000 \times 80^2} = 1.2686$$

$$\rho = \frac{0.85 \cdot f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0.85 \times f'c}} \right)$$

$$\rho = \frac{0.85 \cdot 30}{300} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1.2686}{0.85 \times 30}} \right) = 0.00433$$

$$A_{s \min} = \rho_{min} \times b \times h$$

$$A_{s \min} = 0.002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

$$A_s = \rho \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0.00433 \times 1000 \times 80 = 347,1595 \text{ mm}^2$$

$$A_s > A_{s \min}, \text{ dipakai } A_s$$

$$S = \frac{b_w \times A_s D_{10}}{A_s}$$

$$S = \frac{1000 \times 0.25 \times \pi \times 10^2}{347,1595} = 226,2355 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 3 \times h = 3 \times 120 = 360 \text{ mm atau } S_{max} = 450 \text{ mm (SNI 2847:2013 Pasal 7.6.5)}$$

Dipakai tulangan D10-150

Cek kekuatan momen nominal desain pelat

$$d_{aktual} = 120 - 20 - (0.5 \times 10) = 95 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{1000 \times A_{sD10}}{S}$$

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{1000 \times 0.25 \times \pi \times 10^2}{150} = 523.5987 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ aktual}} > A_s \text{ Ok}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{523.5987 \times 300}{0.85 \times 30 \times 1000} = 6,16$$

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

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7} (f'_c - 28)$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7} (30 - 28)$$

$$\beta_1 = 0.836$$

$$c = \frac{6,16}{0.836} = 7,3684$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0.003$$

$$\varepsilon_t = \frac{95 - 7,3684}{7,3684} \times 0,003 = 0,03567$$

$$\varepsilon_t > 0.005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0.9$

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

$$M_n = 523,5987 \times 300 \left(95 - \frac{6,16}{2} \right) = 14,4387 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 14,4387 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 12,9948 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n > M_u \text{ aman}$$

Perhitungan tulangan lentur arah Y

$$\rho_{min} = 0.002 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.1)}$$

$$\phi = 0.9 \text{ (dianggap terkendali tarik, SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.1)}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$Rn = \frac{5,3917 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 80^2} = 0,936$$

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

$$\rho = \frac{0,85 \cdot 30}{300} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,936}{0,85 \times 30}} \right) = 0,003179$$

$$A_{s \min} = \rho_{\min} \times b \times h$$

$$A_{s \min} = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

$$A_s > A_{s \min}, \text{ dipakai } A_s$$

$$A_s = \rho \times b \times d_{\text{asumsi}}$$

$$A_s = 0,003179 \times 1000 \times 80 = 254,3756 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{b_w \times A_s D10}{A_s}$$

$$S = \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{254,3756} = 308,7552 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 3 \times h = 3 \times 120 = 360 \text{ mm atau } S_{\max} = 450 \text{ mm (SNI 2847:2013 Pasal 7.6.5)}$$

Dipakai tulangan D10-200

Cek kekuatan momen nominal desain pelat

$$d_{\text{aktual}} = 120 - 20 - 10 - (0,5 \times 10) = 85 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{1000 \times A_s D10}{S}$$

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{1000 \times 0.25 \times \pi \times 10^2}{200} = 392.699 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ aktual}} > A_s \text{ Ok}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{392,699 \times 300}{0,85 \times 30 \times 1000} = 4,62$$

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

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7} (f'_c - 28)$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7} (30 - 28)$$

$$\beta_1 = 0,836$$

$$c = \frac{4,62}{0,836} = 5,5263$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0.003$$

$$\varepsilon_t = \frac{95 - 5,5263}{5,5263} \times 0.003 = 0.04314$$

$$\varepsilon_t > 0,005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik

dengan $\phi = 0.9$

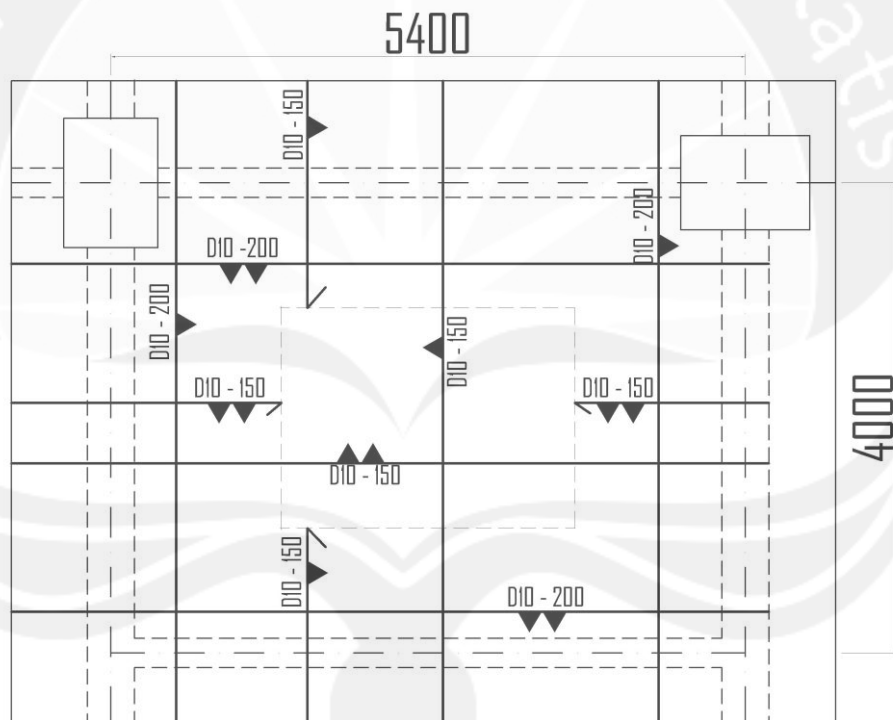
$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 392,699 \times 300 \left(85 - \frac{4,62}{2} \right) = 9,7416 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 9,7416$$

$$\phi M_n = 8,7675 \text{ kN}$$

$$\phi M_n > M_u \text{ aman}$$



Gambar 5.3 Penulangan Pelat Dua Arah

5.3 Perencanaan Tangga

Data yang digunakan:

$$f'c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 300 \text{ MPa untuk diameter} < 12 \text{ mm}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa untuk diameter} > 12 \text{ mm}$$

Tulangan utama rencana ulir diameter 10 mm

Tebal Pelat tangga = 120 mm

Pembebanan:

Beban mati yang bekerja pada tangga yaitu:

$$\text{Beban } Q_{tg} \quad : \text{ berat sendiri tangga} \quad = \frac{0,15}{\cos 33,69^\circ} \times 24 = 4,327 \text{ kN/m}^2$$

$$: \text{ anak tangga} \quad = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 24 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

$$: \text{ ubin dan spesi 50 mm} \quad = 0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$$: \text{ railing} \quad = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban } Q_{tg} = 8,777 \text{ kN/m}^2$$

Beban mati yang bekerja pada balok bordes yaitu:

$$\text{Beban } Q_{bd} \quad : \text{ berat sendiri tangga} \quad = 0,15 \times 24 = 3,6 \text{ kN/m}^2$$

$$: \text{ ubin dan spesi 50 mm} \quad = 0,005 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$$: \text{ railing} \quad = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban } Q_{bd} = 4,93 \text{ kN/m}^2$$

Beban hidup yang bekerja pada tangga dan bordes yaitu:

$$\text{Beban } Q_{LL} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

Setelah menentukan pembebanan yang meliputi beban hidup dan beban mati, maka langkah selanjutnya yaitu memodelkan tangga menggunakan program *ETABS* dengan kombinasi beban sebagai berikut:

- a. 1,4 DL
- b. 1,2 DL + 1,6 LL

Berdasarkan analisis program *ETABS* dengan kombinasi beban diatas maka diperoleh output momen dan gaya pada tabel berikut:

Tabel 5.11 Hasil Output Analisis Tangga

Output	Hasil (kNm)
Momen tumpuan	19,72
Momen lapangan	17,32
Gaya geser (V_u)	33,45

5.3.1. Perhitungan Tulangan Tangga

Pengecekan kuat geser pelat tangga

$$d_s \text{ asumsi} = 30 \text{ mm}$$

$$d \text{ asumsi} = 150 - 30 = 120 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 120 = 111,7354 \text{ kN}$$

$$\Phi = 0,75 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 21.6.5.1)}$$

$$\Phi V_c = 0,75 \times 111,7354$$

$$\Phi V_c = 83,8015 \text{ kN}$$

Nilai $\Phi V_c > V_u$ maka tebal pelat tangga 150 mm bisa dipakai.

Perhitungan tulangan lentur lapangan

($\Phi_{asumsi} = 0,9$, asumsi terkendali tarik)

$$d_{s \text{ asumsi}} = 30 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$Rn = \frac{17,32 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 1200^2} = 1,3364$$

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

$$\rho = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,3364}{0,85 \times 30}} \right) = 0,003433$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho_{min} \times b \times h$$

$$A_{s \text{ min}} = 0,002 \times 1000 \times 150 = 300 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \rho \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0,003433 \times 1000 \times 120 = 412,0214 \text{ mm}^2$$

$$A_s > A_{s \text{ min}}, \text{ dipakai } A_s$$

$$S = \frac{b_w \times A_s D_{13}}{A_s}$$

$$S = \frac{1000 \times 0.25 \times \pi \times 13^2}{412,0214} = 322,1489 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 3 \times h = 3 \times 120 = 360 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D13-150

Cek kekuatan momen nominal desain pelat

$$d_{aktual} = 150 - 20 - (0.5 \times 10) = 123,5 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{1000 \times A_s D_{13}}{S}$$

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{1000 \times 0.25 \times \pi \times 13^2}{150} = 884,8819 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ aktual}} > A_s \text{ Ok}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{884,8819 \times 400}{0.85 \times 30 \times 1000} = 13,8805$$

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

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7} (f'_c - 28)$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7}(30 - 28)$$

$$\beta_1 = 0.836$$

$$c = \frac{13,8805}{0.836} = 16,6034$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0.003$$

$$\varepsilon_t = \frac{123,5 - 16,6034}{16,6034} \times 0,003 = 0,01931$$

$$\varepsilon_t > 0.005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0.9$

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

$$M_n = 884,8819 \times 400 \left(123,5 - \frac{13,8805}{2} \right) = 41,2566 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 41,2566$$

$$\phi M_n = 37,1309$$

$$\phi M_n > M_u \text{ aman}$$

Perhitungan tulangan lentur tumpuan

($\Phi_{asumsi} = 0,9$, asumsi terkendali tarik)

$$d_{s \text{ asumsi}} = 30 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$Rn = \frac{19,72 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 120^2} = 1,5216$$

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

$$\rho = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,5216}{0,85 \times 30}} \right) = 0,003925$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho_{\text{min}} \times b \times h$$

$$A_{s \text{ min}} = 0,002 \times 1000 \times 150 = 300 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \rho \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0,003925 \times 1000 \times 120 = 470,9796 \text{ mm}^2$$

$$A_s > A_{s \text{ min}}, \text{ dipakai } A_s$$

$$S = \frac{b_w \times A_s D13}{A_s}$$

$$S = \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{470,9796} = 281,8217 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} = 3 \times h = 3 \times 120 = 360 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D13-150

Cek kekuatan momen nominal desain pelat

$$d_{aktual} = 150 - 20 - (0.5 \times 10) = 123,5 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{1000 \times A_s D13}{S}$$

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{1000 \times 0.25 \times \pi \times 13^2}{150} = 884,8819 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ aktual}} > A_s \text{ Ok}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'c \times b}$$

$$a = \frac{884,8819 \times 400}{0.85 \times 30 \times 1000} = 13,88$$

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

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7} (f'c - 28)$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{7} (30 - 28)$$

$$\beta_1 = 0.836$$

$$c = \frac{13,88}{0.836} = 16,6035$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0.003$$

$$\varepsilon_t = \frac{123,5 - 16,6035}{16,6035} \times 0.003 = 0,01931$$

$$\varepsilon_t > 0.005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik

dengan $\phi = 0.9$

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

$$M_n = 884,8819 \times 400 \left(123,5 - \frac{13,88}{2} \right) = 41,2566 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 41,2566$$

$$\phi M_n = 37,1309$$

$$\phi M_n > M_u \text{ aman}$$

Perhitungan tulangan susut

$$A_{s \min} = \rho_{\min} \times b_w \times h$$

$$A_{s \min} = 0.002 \times 1000 \times 150 = 300 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{b_w \times A_s D10}{A_s}$$

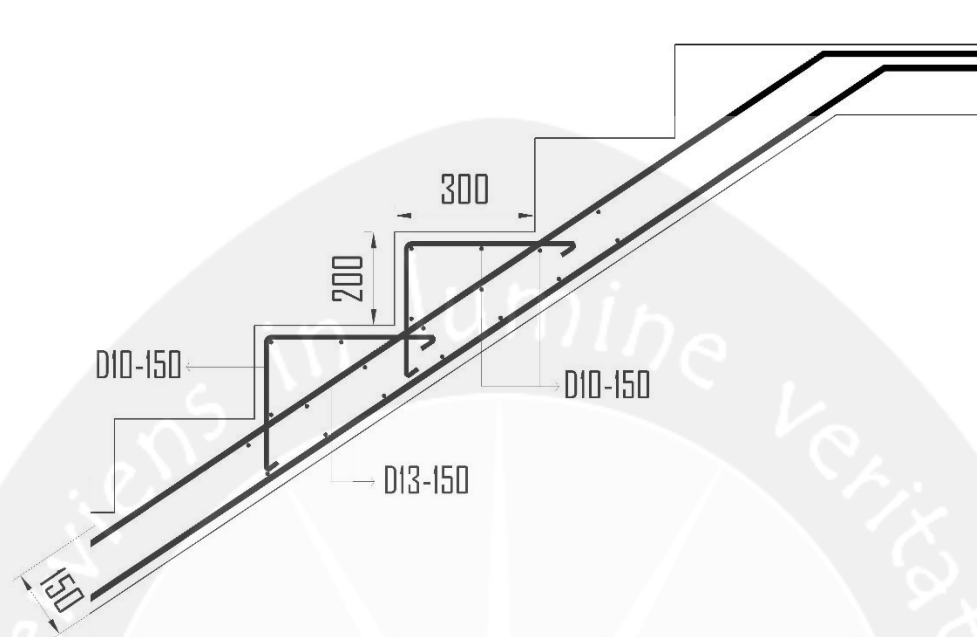
$$S = \frac{1000 \times 0.25 \times \pi \times 10^2}{300} = 261,7993 \text{ mm}$$

Digunakan D10-150

$$A_{spakai} = \frac{b_w \times A_s D10}{S}$$

$$A_{spakai} = \frac{1000 \times 0.25 \times \pi \times 10^2}{150} = 523,5987 \text{ mm}^2$$

$$S_{\max} = 3 \times h = 3 \times 120 = 360 \text{ mm atau spasi maks} = 450 \text{ mm}$$



Gambar 5.4 Detail Penulangan Tangga

5.3.2. Perhitungan Balok Bordes

Dimensi rencana : $b = 300 \text{ mm}$

$h = 400 \text{ mm}$

Panjang bentang balok = 3125 mm

Pembebanan :

beban mati : dinding = $2,5 \times 4,5 = 11,25 \text{ kN/m}$

sendiri = $0,3 \times 0,4 \times 3,125 \times 24 = 9 \text{ kN/m}$

reaksi tangga = $33,45 \text{ kN/m}$

$Q_{DL} = 53,7 \text{ kN/m}$

$Q_{LL} = 4,79 \text{ kN/m}$

$$Q_u = 1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL}$$

$$Q_u = 1,2 (53,7) + 1,6 (4,79) = 72,104 \text{ kN/m}$$

Penulangan lentur tumpuan:

Diamater sengkang = D10

Diameter tulangan utama = D16

Selimut beton = 40 mm (SNI 2847:2013 Pasal 7.71)

$$\phi = 0,9$$

$$d = 400 - 40 - 10 - (0,5 \times 16) = 342 \text{ mm}$$

1. Penulangan lentur tumpuan

Momen untuk balok dapat diambil dengan pendekatan dari SNI 2847:2013 Pasal

8.33

$$Mu_{\text{tumpuan}} = \frac{Q_u \times L_n^2}{11}$$

$$Mu_{\text{tumpuan}} = \frac{72,104 \times 3,125^2}{11} = 64,0128 \text{ kNm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d_{\text{asumsi}}^2}$$

$$Rn = \frac{64,0128 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 342^2} = 2,02698$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'c}{fy} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 \times f'c}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,02698}{0,85 \times 30}} \right) = 0,005286$$

$$\rho_{max1} = 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'c}{fy} \times \left(\frac{600}{600 + fy} \right)$$

$$\rho_{max1} = 0,5 \times 0,85 \times 0,836 \times \frac{30}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,015988$$

$$\rho_{max2} = 0,025$$

Dipakai $\rho_{max} = 0,025$

$$\rho_{min1} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{fy}$$

$$\rho_{min1} = \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} = 0,003423$$

$$\rho_{min2} = 0,0035$$

Dipakai $\rho_{min2} = 0,0035$

$$\rho_{pakai} = 0,005286$$

$$A_s = \rho_{pakai} \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0,005286 \times 300 \times 342 = 542,4125 \text{ mm}^2$$

$$nTulangan = \frac{A_s}{A_s D16}$$

$$nTulangan = \frac{542,4125}{0,25 \times \pi \times 16^2} = 2,69 = 3 \text{ buah}$$

Dipakai 3D16

$$As_{pakai} = 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 = 603,1857 > As_{perlu}$$

Pemeriksaan momen nominal:

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b_w}$$

$$a = \frac{603,1857 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} = 31,5391$$

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 603,1857 \times 400 \times \left(342 - \frac{31,5391}{2} \right) = 70,84 > M_u$$

2. Penulangan lentur lapangan

Momen untuk balok dapat diambil dengan pendekatan dari SNI 2847:2013 Pasal

8.33

$$Mu \text{ lapangan} = \frac{Q_u \times L_n^2}{16}$$

$$Mu \text{ lapangan} = \frac{72,104 \times 3,125^2}{16} = 44,0087 \text{ kNm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$Rn = \frac{44,0087 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 342^2} = 1,3955$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'c}{fy} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 \times f'c}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,3511}{0,85 \times 30}} \right) = 0,003584$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{fy} \times \left(\frac{600}{600 + fy} \right)$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times \frac{0,85 \times 30 \times 0,836}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,015988$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025$$

Dipakai $\rho_{\max} = 0,025$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{fy}$$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} = 0,003423$$

$$\rho_{\min 2} = 0,0035$$

Dipakai $\rho_{\min 2} = 0,0035$

$$\rho_{pakai} = 0,003584$$

$$A_s = \rho_{pakai} \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0,003584 \times 300 \times 342 = 367,7866 \text{ mm}^2$$

$$n_{Tulangan} = \frac{A_s}{A_s D16}$$

$$n_{Tulangan} = \frac{367,7866}{0,25 \times \pi \times 16^2} = 1,83 = 2 \text{ buah}$$

Dipakai 2D16

$$A_{s \text{ pakai}} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 = 402,123 > A_{s \text{ perlu}}$$

Pemeriksaan momen nominal:

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_w}$$

$$a = \frac{402,123 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} = 21,026$$

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 402,123 \times 400 \times \left(342 - \frac{21,026}{2} \right) = 47,9875 > M_u$$

3. Penulangan geser

$$V_u = 33,45 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times 1 \times \sqrt{30} \times 300 \times 342 = 93,66 \text{ kN}$$

$$\Phi = 0,75 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 21.6.5.1)}$$

$$\Phi V_c = 0,75 \times 93,66$$

$$\Phi V_c = 70,245 \text{ kN}$$

$$\Phi V_c > V_u$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi}$$

$$V_s = \frac{33,45}{0,75} = 44,6 \text{ kN}$$

Digunakan tulangan D10

$$A_{sv} = A_s$$

$$A_{sv} = 0,25 \times \pi \times 10^2 = 78,5398 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_{sv} \times f_y \times d}{V_s}$$

$$S = \frac{78,5398 \times 300 \times 342}{44,6} = 240,9023mm$$

Menentukan spasi maksimum

Didalam sendi plastis: a. Spasi maksimum = $\frac{d}{4}$

$$= \frac{342}{4} = 85,5mm$$

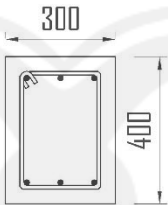
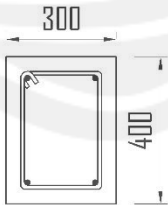
b. $6 \times D = 6 \times 16 = 96mm$

c. 150 mm

Digunakan tulangan geser D10-80

Diluar sendi plastis : a. Spasi maksimum = $\frac{d}{2} = \frac{342}{2} = 171mm$

Digunakan tulangan geser D10-150

BALOK	BORDES	
	Tumpuan	Lapangan
PENAMPANG		
B x H	300 x 400	300 x 400
TULANGAN ATAS	3 D16	2 D16
TULANGAN BAWAH	3 D16	2 D16
SENGKANG	2D10-80	2D10-150

Gambar 5.5 Detail Penulangan Balok Bordes

5.4 Perencanaan Balok

5.4.1. Perencanaan Balok Induk

Pada perencanaan ini balok yang ditinjau terletak pada balok B353 lantai dasar. Gaya-gaya dalam yang diperlukan untuk perhitungan ini didapatkan dari bantuan analisis program *ETABS*. Hasil outputnya dapat dilihat pada tabel 5.12.

Tabel 5.12 Momen Pada Balok Induk B1

Momen	Tumpuan (kNm)	Lapangan(kNm)	V_g (kN)
M_u^+	325,2085	522,709	341,52
M_u^-	650,417	162,60425	

Selain data tentang gaya-gaya dalam juga dibutuhkan data-data lain untuk proses perhitungan sebagai berikut:

Mutu beton (f'_c) : 30 MPa

f_y untuk Diameter > 12mm : 400 MPa

Diameter tulangan utama : 25 mm

f_y untuk Diameter < 12mm : 300 MPa

Diameter tulangan sengkang : 12 mm

5.4.1.1. Tulangan Longitudinal

Konfigurasi balok induk B1

Bentang total : 8 m

Bentang bersih : $8 - 0,55 = 7.45 \text{ m}$

Lebar (b) : 400 mm

Tinggi (h) : 650 mm

Selimut beton : 40 mm

$d_s \text{ asumsi}$: 70 mm

d_{asumsi} : $650 - 70 = 580 \text{ mm}$

a. Tulangan tarik tumpuan

$$M_u = 650.417 \text{ kNm}$$

Koefisien tahanan (R_n)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$R_n = \frac{650,417 \times 10^6}{0.9 \times 400 \times 580^2} = 5,3707$$

Rasio tulangan (ρ)

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 5,3707}{0,85 \times 30}} \right) = 0,015251$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times \frac{0,85 \times f'_c \times \beta}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times \frac{0,85 \times 30 \times 0,836}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,015988$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025$$

Dipakai $\rho_{\max} = 0,025$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y}$$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} = 0,003423$$

$$\rho_{\min 2} = 0,0035$$

Dipakai $\rho_{\min 2} = 0,0035$

$$\rho_{pakai} = 0,015251$$

Pada perhitungan rasio tulangan ρ , nilai rasio tulangan yang dibutuhkan tidak melebihi rasi tulangan maksimum, maka balok yang dihitung adalah balok bertulangan tunggal.

$$A_s = \rho_{pakai} \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0,015251 \times 400 \times 580 = 3538,25823 \text{ mm}^2$$

$$nTulangan = \frac{A_s}{A_s D25}$$

$$nTulangan = \frac{3538,25823}{0,25 \times \pi \times 25^2} = 7,208 = 8 \text{ buah}$$

Dipakai 8 D25

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 7.6.1 jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih besar dari 25 mm.

$$x = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 8 \times 25}{8 - 1}$$

$x = 13,714 < 25$ mm, jarak bersih tidak memenuhi syarat, maka tulangan disusun tingkat menjadi 4+4

$$d_{aktual} = 650 - \frac{[(40 + 12 + 25 \times 0.5) \times 4 + (40 + 12 + 25 + 25 \times 0.5) \times 4]}{8}$$

$$d_{aktual} = 573 \text{ mm}$$

Pemeriksaan momen nominal:

$$As_{pakai} = 8 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 = 3926,9908 > As_{perlu}$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b_w}$$

$$a = \frac{3926,9908 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 153,9996$$

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

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

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

$$\beta_1 = 0,836$$

$$c = \frac{153,9996}{0,836} = 184,21$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{573 - 184,21}{184,21} \times 0.003 = 0.006331$$

$$\varepsilon_t > 0.005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0.9$

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 3926,9908 \times 400 \times \left(573 - \frac{153,9996}{2} \right) = 701,203 > M_u$$

b. Tulangan tekan tumpuan

$$M_u = 325,2085 \text{ kNm}$$

Koefisien tahanan (R_n)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$R_n = \frac{325,2085 \times 10^6}{0.9 \times 400 \times 580^2} = 2,6853$$

Rasio tulangan (ρ)

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,6853}{0,85 \times 30}} \right) = 0.007109$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times 0,85 \times 0,836 \times \frac{30}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,015988$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025$$

Dipakai $\rho_{\max} = 0,025$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y}$$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} = 0,003423$$

$$\rho_{\min 2} = 0,0035$$

Dipakai $\rho_{\min 2} = 0,0035$

$$\rho_{pakai} = 0,007109$$

Pada perhitungan rasio tulangan ρ , nilai rasio tulangan yang dibutuhkan tidak melebihi rasi tulangan maksimum, maka balok yang dihitung adalah balok bertulang tunggal.

$$A_s = \rho_{pakai} \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0,007109 \times 400 \times 580 = 1649,49408 \text{ mm}^2$$

$$nTulangan = \frac{A_s}{A_s D25}$$

$$nTulangan = \frac{1649,49408}{0,25 \times \pi \times 25^2} = 3,36 = 4 \text{ buah}$$

Dipakai 4D25

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 7.6.1 jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih besar dari 25 mm.

$$x = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 4 \times 25}{4 - 1}$$

$x = 65,334 > 25 \text{ mm}$, jarak bersih memenuhi syarat.

$$d_{\text{aktual}} = 650 - 40 - 12 - 0,5 \times 25$$

$$d_{\text{aktual}} = 585,5 \text{ mm}$$

Pemeriksaan momen nominal:

$$As_{\text{pakai}} = 4 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 = 1963,4954 > As_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_w}$$

$$a = \frac{1963,4954 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 76,9998$$

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

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7} (f'_c - 28)$$

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

$$\beta_1 = 0,836$$

$$c = \frac{76,9998}{0,836} = 92,105$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{585,5 - 92,105}{92,105} \times 0.003 = 0.01607$$

$$\varepsilon_t > 0.005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0.9$

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 1963,4954 \times 400 \times \left(585,5 - \frac{76,9998}{2} \right) = 386,65157 > M_u$$

c. Tulangan tarik lapangan

$$M_u = 162,6043 \text{ kNm}$$

Koefisien tahanan (R_n)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$R_n = \frac{162,6043 \times 10^6}{0.9 \times 400 \times 580^2} = 1,34268$$

Rasio tulangan (ρ)

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,34268}{0,85 \times 30}} \right) = 0.00345$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times 0,85 \times 0,836 \times \frac{30}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,015988$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025$$

Dipakai $\rho_{\max} = 0,025$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y}$$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} = 0,003423$$

$$\rho_{\min 2} = 0,0035$$

Dipakai $\rho_{\min 2} = 0,0035$

$$\rho_{pakai} = 0,0035$$

Pada perhitungan rasio tulangan ρ , nilai rasio tulangan yang dibutuhkan tidak melebihi rasio tulangan maksimum, maka balok yang dihitung adalah balok bertulang tunggal.

$$A_s = \rho_{pakai} \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0,0035 \times 400 \times 580 = 812 \text{ mm}^2$$

$$nTulangan = \frac{A_s}{A_s D25}$$

$$nTulangan = \frac{812}{0,25 \times \pi \times 25^2} = 1,654 = 2 \text{ buah}$$

Dipakai 2D25

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 7.6.1 jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih besar dari 25 mm.

$$x = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 2 \times 25}{2 - 1}$$

$x = 246 > 25$ mm, jarak bersih memenuhi syarat.

$$d_{\text{aktual}} = 650 - 40 - 12 - 0.5 \times 25$$

$$d_{\text{aktual}} = 585,5 \text{ mm}$$

Pemeriksaan momen nominal:

$$As_{\text{pakai}} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 = 981,7477 > As_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_w}$$

$$a = \frac{981,7477 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 38,4999$$

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

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7} (f'_c - 28)$$

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

$$\beta_1 = 0,836$$

$$c = \frac{38,4999}{0,836} = 46,0525$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{585,5 - 46,0525}{46,0525} \times 0.003 = 0.03514$$

$$\varepsilon_t > 0.005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0.9$

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 981,7477 \times 400 \times \left(585,5 - \frac{38,4999}{2} \right) = 200,1293 > M_u$$

d. Tulangan tekan lapangan

$$M_u = 522,709 \text{ kNm}$$

Koefisien tahanan (R_n)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$R_n = \frac{522,709 \times 10^6}{0.9 \times 400 \times 580^2} = 4,3162$$

Rasio tulangan (ρ)

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4,3162}{0,85 \times 30}} \right) = 0.011901$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times 0,85 \times 0,836 \times \frac{30}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,015988$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025$$

Dipakai $\rho_{\max} = 0,025$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y}$$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} = 0,003423$$

$$\rho_{\min 2} = 0,0035$$

Dipakai $\rho_{\min 2} = 0,0035$

$$\rho_{pakai} = 0,011901$$

Pada perhitungan rasio tulangan ρ , nilai rasio tulangan yang dibutuhkan tidak melebihi rasio tulangan maksimum, maka balok yang dihitung adalah balok bertulang tunggal.

$$A_s = \rho_{pakai} \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0,011901 \times 400 \times 580 = 2761,1323 \text{ mm}^2$$

$$nTulangan = \frac{A_s}{A_s D25}$$

$$nTulangan = \frac{2761,1323}{0,25 \times \pi \times 25^2} = 5,625 = 6 \text{ buah}$$

Dipakai 6D25

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 7.6.1 jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih besar dari 25 mm.

$$x = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 6 \times 25}{6 - 1}$$

$x = 29,2 > 25$ mm, jarak bersih memenuhi syarat.

$$d_{aktual} = 650 - 40 - 12 - 0,5 \times 25$$

$$d_{aktual} = 585,5 \text{ mm}$$

Pemeriksaan momen nominal:

$$As_{pakai} = 6 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 = 2945,243 > As_{perlu}$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_w}$$

$$a = \frac{2945,243 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 115,4997$$

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

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7} (f'_c - 28)$$

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

$$\beta_1 = 0,836$$

$$c = \frac{115,4997}{0,836} = 138,1575$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{585,5 - 138,1575}{138,1575} \times 0.003 = 0.009713$$

$$\varepsilon_t > 0.005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0.9$

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 2945,2431 \times 400 \times \left(585,5 - \frac{115,4997}{2} \right) = 559,5668 > M_u$$

5.4.1.2. Tulangan Tranversal

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.4, gaya geser rencana akibat beban gempa ditentukan berdasarkan tegangan tarik tulangan longitudinal pada ujung-ujung balok sebesar $1,25f_y$.

1. Menghitung momen kapasitas negatif

M_{pr}^- ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 8D25

$$a_{pr}^- = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$a_{pr}^- = \frac{1,25 \times 3926,99 \times 400}{0.85 \times 30 \times 400}$$

$$a_{pr}^- = 192,4995 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^- = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2} \right)$$

$$M_{pr}^- = 3926,99 \times 1,25 \times 400 \times \left(573 - \frac{192,4995}{2} \right)$$

$$M_{pr}^{-} = 936,0967 kNm$$

2. Menghitung momen kapasitas positif

M_{pr}^{+} ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 6D25

$$a_{pr}^{+} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$a_{pr}^{+} = \frac{1,25 \times 2945,2431 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$a_{pr}^{+} = 144,3746 mm$$

$$M_{pr}^{+} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^{+}}{2} \right)$$

$$M_{pr}^{+} = 2945,2431 \times 1,25 \times 400 \times \left(573 - \frac{144,3746}{2} \right)$$

$$M_{pr}^{+} = 755,9153 kNm$$

3. Menghitung tulangan geser

Gaya geser gravitasi V_g dihitung dengan bantuan program ETABS dengan nilai V_g

$$= 341,52 \text{ kN}$$

Untuk gaya geser akibat gempa dapat dilihat pada perhitungan dibawah:

$$V_e = \frac{M_{pr}^{+} + M_{pr}^{-}}{l_n}$$

$$V_e = \frac{755,9153 + 936,0968}{7,45}$$

$$V_e = 227,1157$$

$$V_e = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} \pm \frac{V_g}{2}$$

$$V_e = \frac{755,9153 + 936,0968}{7,45} \pm \frac{341,52}{2}$$

$$V_{e1} = 397,8757$$

$$V_{e2} = 56,3557$$

Dari hasil diatas menunjukkan bahwa V_{e1} lebih besar daripada V_g , maka gaya yang digunakan untuk perhitungan tulangan transversal pada daerah tumpuan adalah V_{e1} . Daerah ujung sendi plastis diambil sebesar $2h$ (1300), untuk mengetahui nilai gaya geser pada ujung sendi plastis dilakukan interpolasi dari gaya V_{e1} sehingga didapatkan nilai 345,0529 kN untuk gaya geser di ujung sendi plastis.

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.4.2, V_c diabaikan apabila 2 persyaratan berikut terpenuhi:

- $V_e > 0,5 V_u$

$$0,5 V_u = 198,9378; V_e = 227,1157 > 0,5 V_u$$

- $P_u < \frac{A_g \times f'_c}{20}$

$$P_u = 0; \frac{A_g \times f'_c}{20} = 58,9kN$$

$$P_u < \frac{A_g \times f'_c}{20}; \text{mmenuhi syarat}$$

Karena kedua syarat terpenuhi maka nilai V_c tidak diperhitungkan dalam perhitungan kebutuhan tulangan geser.

a. Tulangan Geser Daerah Tumpuan

$$V_u \text{ tumpuan} = 397,8757 \text{ kN}$$

$$d_{\text{aktual}} = 573$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi}; \phi = 0,75 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)}$$

$$V_s = \frac{397,8757}{0,75}$$

$$V_s = 530,5009 \text{ kN}$$

Cek V_s maks (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9)

$$V_s \text{ maks} = 0,66 \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_s \text{ maks} = 0,66 \sqrt{30} \times 400 \times 573$$

$$V_s \text{ maks} = 828,5508 \text{ kN}$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D12 ($A_v = 339,292$)

$$S = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_s}; \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.2)}$$

$$S = \frac{339,292 \times 400 \times 573}{530,5009}$$

$$S = 146,5893 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3.2, spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi persyaratan berikut, diambil yang terkecil:

- $d/4$ = 143,25 mm
- $6d_{\text{longitudinal}}$ = 150 mm
- 150 mm

Tulangan sengkang untuk tumpuan yaitu 3D12-100

b. Tulangan Geser Daerah Lapangan

$$V_u \text{ lapangan} = 328,4477 \text{ kN}$$

$$d_{\text{aktual}} = 585,5 \text{ mm}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} ; \phi = 0,75 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)}$$

$$V_s = \frac{328,4477}{0,75}$$

$$V_s = 437,9303 \text{ kN}$$

Cek V_s maks (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9)

$$V_{s \text{ maks}} = 0,66 \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$V_{s \text{ maks}} = 0,66 \sqrt{30} \times 400 \times 585,5$$

$$V_{s \text{ maks}} = 846,6257 \text{ kN}$$

Dicoba menggunakan tulangan 2D12 ($A_v = 226,1947 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_s} ; \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.2)}$$

$$S = \frac{226,1947 \times 400 \times 585,5}{437,9303}$$

$$S = 120,9663 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3.2, spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi persyaratan berikut, diambil yang terkecil:

$$\bullet d/4 = 146,375 \text{ mm}$$

• $6d_{\text{longitudinal}} = 150 \text{ mm}$

• 150 mm

Tulangan sengkang untuk tumpuan yaitu 2D12-100

BALOK	B1	
	Tumpuan	Lapangan
PENAMPANG		
B x H	400 x 650	400 x 650
TULANGAN ATAS	8 D25	2 D25
TULANGAN BAWAH	4 D25	6 D25
SENGKANG	3D12-100	2D12-100

Gambar 5.6 Detail Penulangan Balok Induk B1

Tabel 5.13 Daftar Balok Induk

Tipe Balok	Dimensi	Tul. Atas		Tul. Bawah		Sengkang	
		Tum.	Lap.	Tum.	Lap.	Tum.	Lap.
B2	600x400	7D25	2D25	4D25	7D25	3D12-100	2D12-100
B3	550x350	4D25	2D25	2D25	2D25	2D12-100	2D12-100
B4	500x300	4D25	2D25	2D25	2D25	2D12-100	2D12-100
B5	450x250	3D25	2D25	2D25	2D25	2D12-75	2D12-90
B6	400x250	3D25	2D25	2D25	2D25	2D10-75	2D10-75
B7	350x200	2D25	2D25	2D25	2D25	2D10-70	2D10-70
B8	250x200	3D16	2D16	2D16	2D16	2D10-40	2D10-45

5.4.2. Perencanaan Balok Anak

Pada perencanaan ini balok yang ditinjau terletak pada balok B318 lantai basement. Gaya-gaya dalam yang diperlukan untuk perhitungan ini didapatkan dari bantuan analisis program *ETABS*. Hasil outputnya dapat dilihat pada tabel 5.13.

Tabel 5.14 Momen Pada Balok Anak BA2

Momen	Tumpuan (kNm)	Lapangan(kNm)	V_g (kN)
M_u^+	60,8665	161,818	109,33
M_u^-	121,733	78,149	

Selain data tentang gaya-gaya dalam juga dibutuhkan data-data lain untuk proses perhitungan sebagai berikut:

Mutu beton (f'_c) : 30 MPa

f_y untuk Diameter > 12mm : 400 MPa

Diameter tulangan utama : 19 mm

f_y untuk Diameter < 12mm : 300 MPa

Diameter tulangan sengkang : 10 mm

5.4.2.1. Tulangan Longitudinal

Konfigurasi balok anak BA2

Bentang total : 8,1 m

Bentang bersih : $8,1 - 0,15 - 0,125 = 7.825$ m

Lebar (b) : 350 mm

Tinggi (h) : 550 mm

Selimut beton : 40 mm

d_{asumsi} : 70 mm

d_{asumsi} : $550 - 70 = 480$ mm

a. Tulangan tarik tumpuan

$M_u = 121,733$ kNm

Koefisien tahanan (R_n)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$R_n = \frac{121,733 \times 10^6}{0.9 \times 350 \times 480^2} = 1,6773$$

Rasio tulangan (ρ)

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,6773}{0,85 \times 30}} \right) = 0,004341$$

$$\rho_{max 1} = 0,5 \times \frac{0,85 \times f'_c \times \beta}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max 1} = 0,5 \times \frac{0,85 \times 30 \times 0,836}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,015988$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025$$

Dipakai $\rho_{\max} = 0,025$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y}$$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} = 0,003423$$

$$\rho_{\min 2} = 0,0035$$

Dipakai $\rho_{\min 2} = 0,0035$

$$\rho_{pakai} = 0,004341$$

Pada perhitungan rasio tulangan ρ , nilai rasio tulangan yang dibutuhkan tidak melebihi rasi tulangan maksimum, maka balok yang dihitung adalah balok bertulang tunggal.

$$A_s = \rho_{pakai} \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0,004341 \times 350 \times 480 = 729,3046 \text{ mm}^2$$

$$nTulangan = \frac{A_s}{A_s D19}$$

$$nTulangan = \frac{729,3046}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 2,572 = 3 \text{ buah}$$

Dipakai 3D19

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 7.6.1 jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih besar dari 25 mm.

$$x = \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19}{3 - 1}$$

$x = 96,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$, jarak bersih memenuhi syarat.

$$d_{\text{aktual}} = 550 - 40 - 10 - (0,5 \times 19)$$

$$d_{\text{aktual}} = 490,5 \text{ mm}$$

Pemeriksaan momen nominal:

$$As_{\text{pakai}} = 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 1472,622 > As_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b_w}$$

$$a = \frac{1472,622 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} = 65,99985$$

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

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

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

$$\beta_1 = 0,836$$

$$c = \frac{65,99985}{0,836} = 78,94718$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{490,5 - 78,94718}{78,94718} \times 0,003 = 0,015639$$

$$\varepsilon_t > 0.005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0.9$

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 1472,622 \times 400 \times \left(490,5 - \frac{65,99985}{2} \right) = 242,5408 > M_u$$

b. Tulangan tekan tumpuan

$$M_u = 60,8665 \text{ kNm}$$

Koefisien tahanan (R_n)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{\text{asumsi}}^2}$$

$$R_n = \frac{60,8665 \times 10^6}{0,9 \times 350 \times 480^2} = 0,8386$$

Rasio tulangan (ρ)

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

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,8386}{0,85 \times 30}} \right) = 0,002132$$

$$\rho_{\text{max 1}} = 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\text{max 1}} = 0,5 \times 0,85 \times 0,836 \times \frac{30}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,015988$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025$$

Dipakai $\rho_{\max} = 0,025$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y}$$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} = 0,003423$$

$$\rho_{\min 2} = 0,0035$$

Dipakai $\rho_{\min 2} = 0,0035$

$$\rho_{pakai} = 0,0035$$

Pada perhitungan rasio tulangan ρ , nilai rasio tulangan yang dibutuhkan tidak melebihi rasio tulangan maksimum, maka balok yang dihitung adalah balok bertulangan tunggal.

$$A_s = \rho_{pakai} \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0,0035 \times 350 \times 480 = 588 \text{ mm}^2$$

$$nTulangan = \frac{A_s}{A_s D19}$$

$$nTulangan = \frac{588}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 2,074 = 3 \text{ buah}$$

Dipakai 3D19

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 7.6.1 jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih besar dari 25 mm.

$$x = \frac{30 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19}{3 - 1}$$

$x = 96,5 > 25$ mm, jarak bersih memenuhi syarat.

$$d_{aktual} = 550 - 40 - 10 - 0,5 \times 19$$

$$d_{aktual} = 490,5 \text{ mm}$$

Pemeriksaan momen nominal:

$$As_{pakai} = 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 1472,622 > As_{perlu}$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_w}$$

$$a = \frac{1472,622 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} = 65,99985$$

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

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7} (f'_c - 28)$$

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

$$\beta_1 = 0,836$$

$$c = \frac{65,99985}{0,836} = 78,94718$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{490,5 - 78,94718}{78,94718} \times 0.003 = 0.015639$$

$$\varepsilon_t > 0.005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0.9$

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 1472,622 \times 400 \times \left(490,5 - \frac{65,99985}{2} \right) = 242,5408 > M_u$$

c. Tulangan tarik lapangan

$$M_u = 30,43325 \text{ kNm}$$

Koefisien tahanan (R_n)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$R_n = \frac{30,43325 \times 10^6}{0.9 \times 350 \times 480^2} = 1,0768$$

Rasio tulangan (ρ)

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,0768}{0,85 \times 30}} \right) = 0.002751$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times 0,85 \times 0,836 \times \frac{30}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,015988$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025$$

Dipakai $\rho_{\max} = 0,025$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y}$$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} = 0,003423$$

$$\rho_{\min 2} = 0,0035$$

Dipakai $\rho_{\min 2} = 0,0035$

$$\rho_{pakai} = 0,0035$$

Pada perhitungan rasio tulangan ρ , nilai rasio tulangan yang dibutuhkan tidak melebihi rasio tulangan maksimum, maka balok yang dihitung adalah balok bertulang tunggal.

$$A_s = \rho_{pakai} \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0,0035 \times 350 \times 480 = 588 \text{ mm}^2$$

$$nTulangan = \frac{A_s}{A_s D19}$$

$$nTulangan = \frac{588}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 2,074 = 3 \text{ buah}$$

Dipakai 3D19

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 7.6.1 jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih besar dari 25 mm.

$$x = \frac{30 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19}{3 - 1}$$

$x = 96,5 > 25$ mm, jarak bersih memenuhi syarat.

$$d_{aktual} = 550 - 40 - 10 - 0,5 \times 19$$

$$d_{aktual} = 490,5 \text{ mm}$$

Pemeriksaan momen nominal:

$$As_{pakai} = 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 1472,622 > As_{perlu}$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_w}$$

$$a = \frac{1472,622 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} = 65,99985$$

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

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7} (f'_c - 28)$$

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

$$\beta_1 = 0,836$$

$$c = \frac{65,99985}{0,836} = 78,94718$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{490,5 - 78,94718}{78,94718} \times 0.003 = 0.015639$$

$$\varepsilon_t > 0.005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0.9$

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 1472,622 \times 400 \times \left(490,5 - \frac{65,99985}{2} \right) = 242,5408 > M_u$$

d. Tulangan tekan lapangan

$$M_u = 161,818 \text{ kNm}$$

Koefisien tahanan (R_n)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{asumsi}^2}$$

$$R_n = \frac{161,818 \times 10^6}{0.9 \times 350 \times 480^2} = 2,2296$$

Rasio tulangan (ρ)

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,2296}{0,85 \times 30}} \right) = 0.005842$$

$$\rho_{max1} = 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max 1} = 0,5 \times 0,85 \times 0,836 \times \frac{30}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,015988$$

$$\rho_{\max 2} = 0,025$$

Dipakai $\rho_{\max} = 0,025$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y}$$

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} = 0,003423$$

$$\rho_{\min 2} = 0,0035$$

Dipakai $\rho_{\min 2} = 0,0035$

$$\rho_{pakai} = 0,005842$$

Pada perhitungan rasio tulangan ρ , nilai rasio tulangan yang dibutuhkan tidak melebihi rasi tulangan maksimum, maka balok yang dihitung adalah balok bertulang tunggal.

$$A_s = \rho_{pakai} \times b \times d_{asumsi}$$

$$A_s = 0.005842 \times 350 \times 480 = 981,4127 \text{ mm}^2$$

$$nTulangan = \frac{A_s}{A_s D19}$$

$$nTulangan = \frac{2761,1323}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 3,46 = 4 \text{ buah}$$

Dipakai 4D19

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 7.6.1 jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih besar dari 25 mm.

$$x = \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 19}{4 - 1}$$

$x = 58 > 25$ mm, jarak bersih memenuhi syarat.

$$d_{\text{aktual}} = 550 - 40 - 10 - 0.5 \times 19$$

$$d_{\text{aktual}} = 490,5 \text{ mm}$$

Pemeriksaan momen nominal:

$$As_{\text{pakai}} = 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 1963,495 > As_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_w}$$

$$a = \frac{1963,495 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} = 87,9997$$

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

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7} (f'_c - 28)$$

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

$$\beta_1 = 0,836$$

$$c = \frac{87,9997}{0,836} = 105,263$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_t = \frac{490,5 - 105,263}{105,263} \times 0.003 = 0.010979$$

$$\varepsilon_t > 0.005$$

Sesuai SNI 2837:2013 Pasal 10.3.4, penampang merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0.9$

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

$$\phi M_n = 0,9 \times 1963,495 \times 400 \times \left(490,5 - \frac{87,9997}{2} \right) = 315,6123 > M_u$$

5.4.2.2. Tulangan Tranversal

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.4, gaya geser rencana akibat beban gempa ditentukan berdasarkan tegangan tarik tulangan longitudinal pada ujung-ujung balok sebesar $1,25f_y$.

1. Menghitung momen kapasitas negatif

M_{pr}^- ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 3D19

$$a_{pr}^- = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$a_{pr}^- = \frac{1,25 \times 1472,622 \times 400}{0.85 \times 30 \times 350}$$

$$a_{pr}^- = 72,187 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^- = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2} \right)$$

$$M_{pr}^- = 1472,622 \times 1,25 \times 400 \times \left(490,5 - \frac{72,187}{2} \right)$$

$$M_{pr}^{-} = 334,5843 kNm$$

2. Menghitung momen kapasitas positif

M_{pr}^{+} ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 4D19

$$a_{pr}^{+} = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$a_{pr}^{+} = \frac{1,25 \times 1963,495 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350}$$

$$a_{pr}^{+} = 96,25 mm$$

$$M_{pr}^{+} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^{+}}{2} \right)$$

$$M_{pr}^{+} = 1963,495 \times 1,25 \times 400 \times \left(490,5 - \frac{96,25}{2} \right)$$

$$M_{pr}^{+} = 434,3008 kNm$$

3. Menghitung tulangan geser

Gaya geser gravitasi V_g dihitung dengan bantuan program ETABS dengan nilai $V_g = 109,33$ kN

Untuk gaya geser akibat gempa dapat dilihat pada perhitungan dibawah:

$$V_e = \frac{M_{pr}^{+} + M_{pr}^{-}}{l_n}$$

$$V_e = \frac{434,3008 + 334,5843}{7,825}$$

$$V_e = 98,26 kN$$

$$V_e = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} \pm \frac{V_g}{2}$$

$$V_e = \frac{434,3008 + 334,5843}{7,825} \pm \frac{109,33}{2}$$

$$V_{e1} = 152,9251 \text{ kN}$$

$$V_{e2} = 43,5957 \text{ kN}$$

Dari hasil diatas menunjukkan bahwa V_{e1} lebih besar daripada V_g , maka gaya yang digunakan untuk perhitungan tulangan transversal pada daerah tumpuan adalah V_{e1} . Daerah ujung sendi plastis diambil sebesar $2h$ (1100), untuk mengetahui nilai gaya geser pada ujung sendi plastis dilakukan interpolasi dari gaya V_{e1} sehingga didapatkan nilai 131,4276 kN untuk gaya geser di ujung sendi plastis.

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.4.2, V_c diabaikan apabila 2 persyaratan berikut terpenuhi:

- $V_e > 0,5 V_u$

$$0,5 V_u = 76,4625; V_e = 98,26 > 0,5 V_u$$

- $P_u < \frac{A_g \times f'_c}{20}$

$$P_u = 0; \frac{A_g \times f'_c}{20} = 58,9 \text{ kN}$$

$$P_u < \frac{A_g \times f'_c}{20}; \text{ mmenuhi syarat}$$

Karena kedua syarat terpenuhi maka nilai V_c tidak diperhitungkan dalam perhitungan kebutuhan tulangan geser.

a. Tulangan Geser Daerah Tumpuan

$$V_u \text{ tumpuan} = 152,9251 \text{ kN}$$

$$d_{aktual} = 490,5$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} ; \phi = 0,75 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)}$$

$$V_s = \frac{152,9251}{0,75}$$

$$V_s = 203,9001 \text{ kN}$$

Cek V_s maks (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9)

$$V_s \text{ maks} = 0,66 \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$V_s \text{ maks} = 0,66 \sqrt{30} \times 350 \times 490,5$$

$$V_s \text{ maks} = 620,5998 \text{ kN}$$

Dicoba menggunakan tulangan 3D10 ($A_v = 235,6194$)

$$S = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_s} ; \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.2)}$$

$$S = \frac{235,6194 \times 400 \times 490,5}{203,9001}$$

$$S = 170,0411 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3.2, spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi persyaratan berikut, diambil yang terkecil:

- $d/4 = 122,625 \text{ mm}$
- $6d_{\text{longitudinal}} = 114 \text{ mm}$
- 150 mm

Tulangan sengkang untuk tumpuan yaitu 3D10-100

b. Tulangan Geser Daerah Lapangan

$$V_u \text{ lapangan} = 131,4276 \text{ kN}$$

$$d_{\text{aktual}} = 490,5 \text{ mm}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} ; \phi = 0,75 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)}$$

$$V_s = \frac{131,4276}{0,75}$$

$$V_s = 175,2368 \text{ kN}$$

Cek V_s maks (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9)

$$V_s \text{ maks} = 0,66 \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_s \text{ maks} = 0,66 \sqrt{30} \times 350 \times 490,5$$

$$V_s \text{ maks} = 620,5998 \text{ kN}$$

Dicoba menggunakan tulangan 2D10 ($A_v = 157,0796 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_s} ; \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.2)}$$

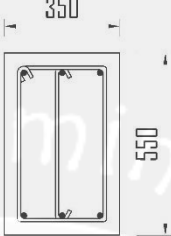
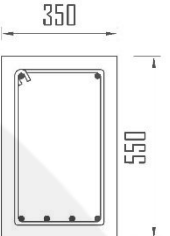
$$S = \frac{157,0796 \times 400 \times 490,5}{175,2368}$$

$$S = 131,903 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3.2, spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi persyaratan berikut, diambil yang terkecil:

- $d/4$ = 146,375 mm
- $6d_{\text{longitudinal}}$ = 114 mm
- 150 mm

Tulangan sengkang untuk tumpuan yaitu 2D10-100

BALOK	BA2	
	Tumpuan	Lapangan
PENAMPANG		
B x H	350 x 550	350 x 550
TULANGAN ATAS	3 D19	2 D19
TULANGAN BAWAH	3 D19	4 D19
SENGKANG	3D10-100	2D10-100

Gambar 5.7 Detail Penulangan Balok Anak BA2

Tabel 5.15 Daftar Balok Anak

Tipe Balok	Dimensi	Tul. Atas		Tul. Bawah		Sengkang	
		Tum.	Lap.	Tum.	Lap.	Tum.	Lap.
BA1	400x650	6D25	2D25	3D25	6D25	3D12-100	2D12-100
BA3	300x450	2D19	2D19	2D19	2D19	2D10-80	2D10-80
BA4	250x400	3D22	2D22	2D22	2D22	2D10-80	2D10-80
BA5	200x300	2D22	2D22	2D22	2D22	2D10-50	2D10-50
BA6	200x250	2D22	2D22	2D22	2D22	2D10-45	2D10-45

5.5 Perencanaan Kolom

Material yang digunakan dalam perencanaan kolom adalah sebagai

berikut:

f'_c	= 30 MPa
f_y	= 400 MPa
Selimut beton	= 50 mm
D tulangan longitudinal	= 25 mm ($A_v = 490,87 \text{ mm}^2$)
D tulangan transversal	= 13 mm ($A_v = 132,73 \text{ mm}^2$)

Kolom yang ditinjau untuk perhitungan adalah kolom C62 pada lantai basement 1. Konfigurasi kolom C62 atau kolom KT 800x1100 adalah sebagai berikut:

Lebar kolom (b)	= 800 mm
Tinggi kolom (h)	= 1100 mm
Panjang kolom (l)	= 2950 mm
Panjang efektif (l_n)	= 2300 mm

5.5.1. Kelangsingan Kolom

Cek struktur bergoyang atau tidak bergoyang.

Arah x: $P = 5936,11 \text{ kN}$

$V = 6587,47 \text{ kN}$

$\Delta = 22,275 \text{ mm}$

$$Q = \frac{\sum P_u \times \Delta_0}{V_{us} \times l}$$

$$Q = \frac{5936,11 \times 22,275}{6587,47 \times 2950}$$

$$Q = 0,006804 < 0,05$$

Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa struktur pada tingkat tersebut adalah struktur tidak bergoyang.

Arah y: $P = 5936,11 \text{ kN}$

$$V = 6587,47 \text{ kN}$$

$$\Delta = 19,756 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{\sum P_u \times \Delta_0}{V_{us} \times l}$$

$$Q = \frac{5936,11 \times 19,756}{6587,83 \times 2950}$$

$$Q = 0,006034 < 0,05$$

Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa struktur pada tingkat tersebut adalah struktur tidak bergoyang. Maka nilai K diasumsikan = 1.

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 10.10.1, pengaruh kelangsingan untuk komponen struktur tekan yang dibresing (*braced*) terhadap goyangan menyamping

boleh diabaikan apabila memenuhi syarat $\frac{k.l_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40$

Arah X

Dalam pemodelan pada *ETABS*, momen 2-2 adalah momen yang memutar sumbu y, maka M_2 digunakan untuk M_1 dan M_2

$$M_1 = -265,709 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 538,286 \text{ kNm}$$

$$l_u = 2300 \text{ mm}$$

$$r = 0,3 \cdot 1100 = 330 \text{ mm}$$

$$34 - 12 (M_1/M_2)$$

$$34 - 12 (-265,709/538,286) = 39,923 < 40$$

$$\frac{k l_u}{r} = \frac{1 \times 2300}{330} = 6,9696 \leq 40$$

Dari nilai tersebut maka kelangsingan kolom diabaikan.

Arah Y

Dalam pemodelan pada *ETABS*, momen 3-3 adalah momen yang memutar sumbu x, maka M_3 digunakan untuk M_1 dan M_2

$$M_1 = -556,596 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 778,307 \text{ kNm}$$

$$l_u = 2300 \text{ mm}$$

$$r = 0,3 \cdot 800 = 240 \text{ mm}$$

$$34 - 12 (M_1/M_2)$$

$$34 - 12 (-556,596/778,307) = 42,58 > 40$$

$$\frac{kI_u}{r} = \frac{1 \times 2300}{240} = 9,5834 \leq 40$$

Dari nilai tersebut maka kelangsingan kolom diabaikan.

5.5.2. Tulangan Longitudinal

Analisis struktur pada program *ETABS* menghasilkan output kolom yang ditampilkan pada tabel 5.16.

Tabel 5.16 Output Kolom C62 Lantai Basement 1

P	$M_x(M_2)$	$M_y(M_3)$	$V_x(V_3)$	$V_y(V_2)$
5351,24 kN	778,307 kN	538,286 kN	147,79 kN	125,4 kN

Perhitungan penulangan longitudinal untuk kolom menggunakan diagram bantu untuk mendapatkan nilai rasio tulangan.

$$M_u = M_x \frac{b}{h} \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) + M_y$$

$$M_u = 778,307 \frac{800}{1100} \left(\frac{1-0,65}{0,65} \right) + 538,286$$

$$M_u = 843,0776 \text{ kN}$$

$$M_{od} = \frac{M_u}{f'c.b.h^2}$$

$$M_{od} = \frac{843,0776}{30.800.1100^2} = 0,029032$$

$$N_{od} = \frac{P_u}{f'c.b.h}$$

$$N_{od} = \frac{5351,24}{30.800.1100} = 0,0202698$$

Dari diagram interaksi kolom didapat nilai $\rho = 1 \%$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.3 rasio penulangan tidak boleh kurang dari 0,01 dari luas bruto penampang dan tidak boleh lebih besar dari 0,06 luas bruto penampang.

$$\begin{aligned} A_g &= 1100 \times 800 \\ &= 880000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= \rho \times A_g \\ &= 0,01 \times 880000 = 8800 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{st}}{A_s D25}$$

$$n = \frac{8800}{490,8738} = 17,927 = 18 \text{ tulangan}$$

Spasi tulangan sejajar harus dicek sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 7.6.3

$$x = \frac{800 - (2.50) - (2.13) - (5.25)}{5 - 1} = 137,25 > 40 \text{ mm untuk arah b kolom}$$

$$x = \frac{1100 - (2.50) - (2.13) - (6.25)}{6 - 1} = 164,8 > 40 \text{ mm untuk arah h kolom}$$

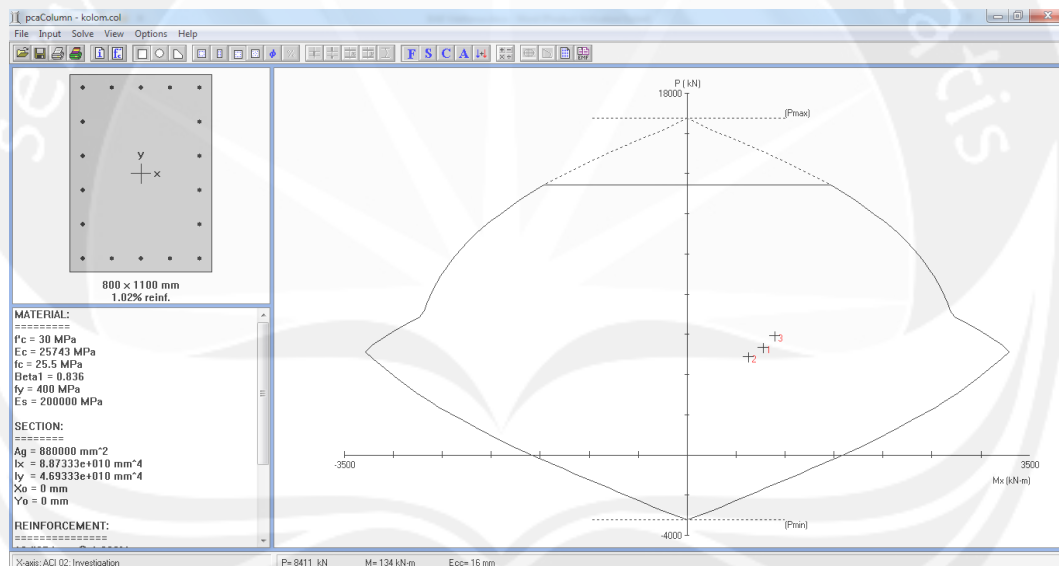
Maka syarat spasi antar tulangan sejajar terpenuhi.

5.5.3. Kuat Kolom

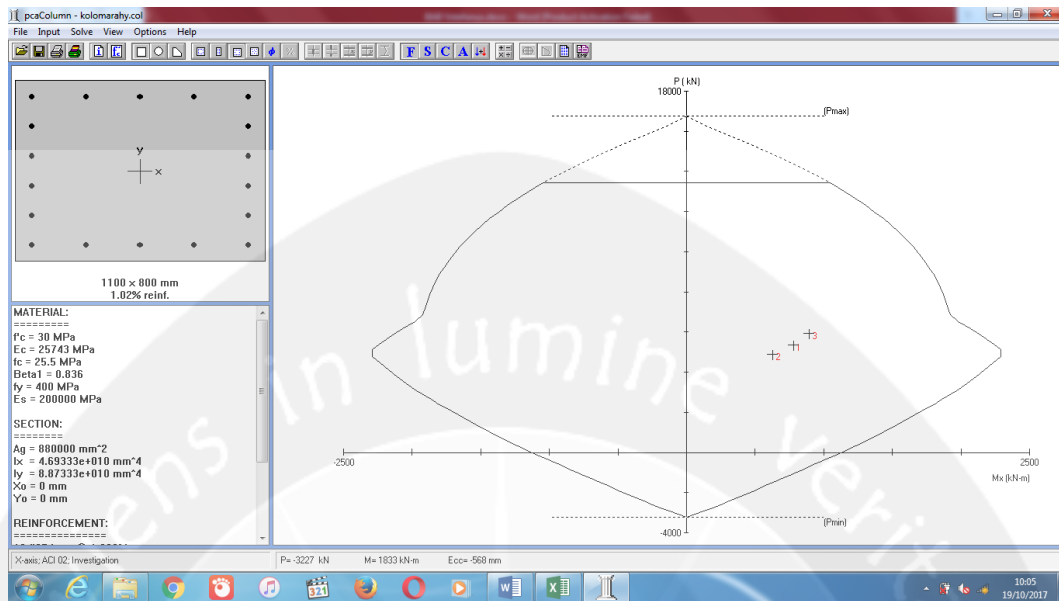
Perencanaan kolom dilakukan dengan ketentuan *strong column weak beam*, sehingga SNI 2847:2013 Pasal 21.6.2.2, kuat kolom harus memenuhi $\Sigma M_{nc} > 1,2 \Sigma M_{nb}$.

Menentukan nilai ΣM_{nc}

Nilai momen nominal kolom dihitung dengan bantuan *software pcaColumn* yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.8 Diagram Interaksi Kolom KT 800x1100 arah x



Gambar 5.9 Diagram Interaksi Kolom KT 800x1100 arah y

- Pemeriksaan joint bagian atas kolom

Kolom C62 lantai basement 1 (ditinjau)

$$P_u = 5351,24 \text{ kN}$$

Dari diagram interaksi didapat nilai $M_u = 3239 \text{ kNm}$

Kolom C62 lantai dasar

$$P_u = 4882,08 \text{ kN}$$

Dari diagram interaksi didapat nilai $M_u = 3231 \text{ kNm}$

$$\Sigma M_{nc} = \frac{3239 + 3231}{0,65} = 99353,846 \text{ kNm}$$

Dari hasil perhitungan tulangan longitudinal pada balok induk B1 diperoleh tulangan pada tumpuan atas 8D25 dan 4D25 pada tumpuan bawah.

$$M_{ub}^- = 779,1156 \text{ kNm}$$

$$M_{ub}^+ = 429,6129 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{nb} = \frac{779,1156 + 429,6129}{0,9} = 1343,0317 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{nc} > 1,2 \Sigma M_{nb}$$

$$9953,846 > 1,2 \cdot 1343,0317$$

$$9953,846 > 1611,638$$

- Pemeriksaan joint bagian bawah kolom

Kolom C62 lantai basement 1 (ditinjau)

$$P_u = 5351,24 \text{ kN}$$

Dari diagram interaksi didapat nilai $M_u = 3239 \text{ kNm}$

Kolom C62 lantai dasar

$$P_u = 5936,11 \text{ kN}$$

Dari diagram interaksi didapat nilai $M_u = 3057 \text{ kNm}$

$$\Sigma M_{nc} = \frac{3239 + 3057}{0,65} = 9686,1538 \text{ kNm}$$

Dari hasil perhitungan tulangan longitudinal pada balok induk B1 diperoleh tulangan pada tumpuan atas 8D25 dan 4D25 pada tumpuan bawah.

$$M_{ub}^- = 779,1156 \text{ kNm}$$

$$M_{ub}^+ = 429,6129 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{nb} = \frac{779,1156 + 429,6129}{0,9} = 1343,0317 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{nc} > 1,2 \Sigma M_{nb}$$

$$9686,154 > 1,2 \cdot 1343,0317$$

$$9686,154 > 1611,638$$

5.5.4. Penulangan Tranversal Kolom

1. Menentukan panjang l_0

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.1 menyatakan bahwa l_0 tidak boleh kurang dari yang terbesar dari nilai berikut:

a. $h \text{ kolom} = 1100 \text{ mm}$

b. $1/6 \text{ bentang bersih kolom} = 1/6 \times 2300 = 383,333 \text{ mm}$

c. 450 mm

maka digunakan nilai paling besai yaitu, $l_0 = 1100 \text{ mm}$

2. Menentukan spasi sepanjang l_0

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.3 batasan spasi maksimum tidak boleh melebihi 150mm dan kurang dari 100mm dan dari beberapa batasan berikut:

a. $\frac{1}{4} b \text{ kolom} = \frac{1}{4} \times 800 = 200 \text{ mm}$

b. $6 \text{ diameter tulangan} = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$

c. $S_0 = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$

diketahui:

$$h_c = 800 - 2.50 - 0,5.13 = 693,5 \text{ mm}$$

$$h_x = 2/3. h_c = 2/3 . 693,5 = 62,5 \text{ mm}$$

Jadi digunakan nilai $S_0 = 100 \text{ mm}$

3. Penentuan spasi diluar l_0

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.5 spasi maksimum diambil nilai terkecil dari:

a. diameter tulangan = $6 \times 25 = 150 \text{ mm}$

b. 150 mm

Maka digunakan $s = 150 \text{ mm}$ untuk diluar l_0

4. Perhitungan kapasitas geser kolom

V_e tidak perlu lebih besar daripada V_e yang dihitung dari nilai M_{pr} balok induk B1.

$$M_{pr^-} = 755,9153 \text{ kNm}$$

$$M_{pr^+} = 936,0968 \text{ kNm}$$

DF adalah faktor distribusi momen bagian atas dan bagian bawah kolom yang ditinjau dalam perhitungan. Karena kekakuan kolom dilantai atas dan bawah adalah sama, maka $DF_{\text{ujung atas}} = DF_{\text{ujung bawah}} = 0,5$

$$V_{\text{sway}} = \frac{DF_{\text{atas}} \cdot \Sigma M_{pr-\text{atas}} + DF_{\text{bawah}} \cdot \Sigma M_{pr-\text{bawah}}}{l_u}$$

$$V_{\text{sway}} = \frac{0,5(755,9153 + 936,0968) + 0,5(755,9153 + 936,0968)}{2,3}$$

$$V_{\text{sway}} = 735,6575 \text{ kN}$$

Gaya geser terfaktor hasil dari analisis *ETABS* yaitu, $V_u = 147,79 < V_{\text{sway}}$, maka digunakan $V_u = 735,6575 \text{ kN}$

Cek apakah membutuhkan tulangan geser

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{30} \cdot 800 \cdot (1100 - 50 - 13 - 0,5 \cdot 25)$$

$$V_c = 540,4268 \text{ kN}$$

Syarat:

$$\frac{V_u}{\phi} > \frac{1}{2} V_c$$

$$\frac{735,657}{0,75} = 980,8766 > \frac{1}{2} 540,4268 = 270,2134 \text{ kN}$$

Maka dibutuhkan tulangan geser pada kolom.

5. Perhitungan tulangan geser pada l_0

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.4 luas total tulangan sengkang diambil nilai terbesar dari:

$$A_{sh1} = 0,3 \left(s \cdot h_c \frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{sh2} = 0,09 \left(s \cdot h_c \frac{f'_c}{f_y} \right)$$

Diketahui:

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

$$h_c = 693,5 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = (800 - 2,50) \cdot (1100 - 2,50) = 700000 \text{ mm}^2$$

$$A_g = 800 \cdot 1100 = 880000 \text{ mm}^2$$

Sehingga didapat nilai:

$$A_{sh1} = 0,3 \left(100.693,5 \frac{30}{400} \right) \left(\frac{880000}{700000} - 1 \right) = 401,2393 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,09 \left(100.693,5 \frac{30}{400} \right) = 468,1125 \text{ mm}^2$$

Diambil nilai terbesar $A_{sh} = 468,2393 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan geser yang dibutuhkan jika menggunakan tulangan diameter D13

($A_v = 132,73 \text{ mm}^2$):

$$n = \frac{A_{sh}}{A_v}$$

$$n = \frac{468,2393}{132,73} = 3,52 = 4$$

Maka digunakan sengkang 4D13-100 sepanjang l_0 .

6. Perhitungan tulangan geser diluar l_0

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1, untuk komponen struktur yang dikenai beban aksial dihitung dengan persamaan:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14.A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d$$

Nilai N_u adalah nilai gaya aksial terkecil pada kolom desain yang didapatkan dari analisis *ETABS* yaitu, $N_u = 2761,5 \text{ kN}$

Nilai λ dalam penggunaan beton normal yaitu $\lambda = 1$

Sehingga didapat nilai:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2761,5}{14.880000} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 800 \cdot 1024,5$$

$$V_c = 934,2117 \text{ kN}$$

Cek apakah dibutuhkan tulangan geser

$$\frac{V_u}{\phi} > V_c$$

$$\frac{735,657}{0,75} = 980,8766kN > 934,2117kN$$

Maka dibutuhkan tulangan geser

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = 980,8766kN$$

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_{y,d}}$$

$$A_v = \frac{980,8766 \cdot 150}{400 \cdot 1024,5} = 359,0324 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3D13 ($A_v=398,1968 \text{ mm}^2$) $> 359,0324 \text{ mm}^2$

Maka digunakan tulangan sengkang 3D13-150 diluar l_0 .

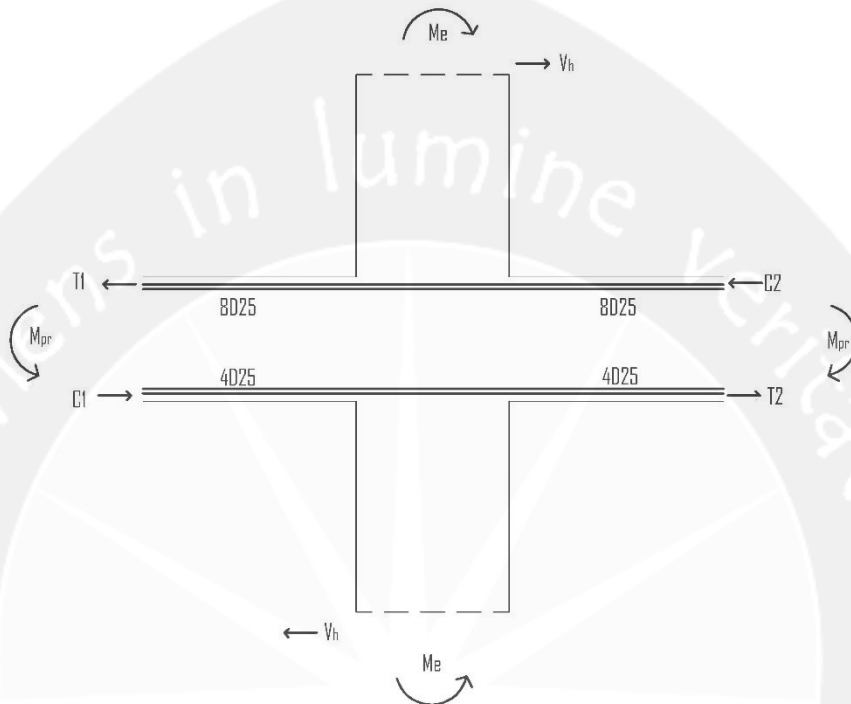
KOLOM	KT 800 X 1100	
	Tumpuan	Lapangan
PENAMPANG		
B x H	800 x 1100	800 x 1100
TULANGAN UTAMA	18 D25	18 D25
SENGKANG	4D13-100	3D13-150

Gambar 5.10 Detail Penulangan Kolom KT 800x1100

Tabel 5.17 Daftar Dimensi Kolom

Tipe Kolom	Dimensi	Tulangan Utama	Sengkang	
			Tumpuan	Lapangan
KT 1000x700	1000x700	16D25	4D13-100	3D13-150
KS 900x600	900x600	12D25	4D13-100	3D13-150
KS 1000x700	1000x700	16D25	4D13-100	3D13-150
KP 900x700	900x700	17D25	4D13-100	3D13-150
KP 1000x800	1000x800	14D25	4D13-100	3D13-150

5.6 Hubungan Balok Kolom



Gambar 5.11 Hubungan Balok Kolom

$$M_e = 0,5 (M_{pr}^- + M_{pr}^+)$$

$$M_e = 0,5 (936,0969 + 755,9153)$$

$$M_e = 846,0061 \text{ kNm}$$

Geser pada kolom atas:

$$V_h = \frac{2 \cdot M_e}{h_n}$$

$$V_h = \frac{2 \cdot 846,0061}{2,3}$$

$$V_h = 735,6575 \text{ kN}$$

Bagian atas balok terdapat baja tulangan terpasang 8D25 ($A_s=3926,9908 \text{ mm}^2$)

Gaya tarik yang bekerja pada baja tulangan balok di bagian kiri adalah:

$$T_1 = 1,25 \cdot f_y \cdot A_s$$

$$T_1 = 1,25 \cdot 400 \cdot 3926,9908$$

$$T_1 = 1963,495 \text{ kN}$$

Gaya yang bekerja pada balok kea rah kiri:

$$C_1 = T_1$$

$$C_1 = 1963,495 \text{ kN}$$

Bagian bawah balok terdapat baja tulangan 4D25 ($A_s=1963,4954 \text{ mm}^2$)

Gaya tarik yang bekerja pada baja tulangan balok di bagian kanan adalah:

$$T_2 = 1,25 \cdot f_y \cdot A_s$$

$$T_2 = 1,25 \cdot 400 \cdot 1963,4954$$

$$T_2 = 981,7473 \text{ kN}$$

Gaya yang bekerja pada balok kea rah kiri:

$$C_2 = T_2$$

$$C_2 = 981,7473 \text{ kN}$$

$$V_u = V_h - T_1 - C_2$$

$$V_u = 735,6575 - 1963,495 - 981,7473$$

$$V_u = (-) 2209,585 \text{ kN}$$

$$V_n = 1,7 \sqrt{f'c} \cdot A_j$$

$$V_n = 1,7 \sqrt{30} \cdot 800 \cdot 1100$$

$$V_n = 8193,929 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 8193,929$$

$$= 6145,447 \text{ kN} > V_u = 2209,585 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa *joint* mempunyai kuat geser yang memadai untuk menahan geser yang terjadi.

