

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan terhadap kinerja *link* pendek ($e \leq 1,6M_p/V_p$) berpengaku badan vertikal menggunakan *software* Abaqus/CAE 6.13, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Balok *link* pendek berpengaku badan vertikal merupakan elemen struktur dengan daktilitas tinggi, yang mengalami beberapa siklus plastis akibat variasi pembebanan Δ_y secara siklik yang mewakili beban gempa ekstrim.
2. Pembebanan dibawah batas beban maksimum pada balok *link* pendek berpengaku badan vertikal, untuk pembebanan meningkat ($1\Delta_y$, $2\Delta_y$, dan $5\Delta_y$) semakin besar peningkatan beban siklik maka persentase penurunan energi (*reaction force*) meningkat, dan jumlah siklus plastis sebelum mengalami keruntuhan semakin berkurang, sedangkan pembebanan konstan ($10\Delta_y$) memiliki besar penurunan energi relatif sama setiap siklus, dan jumlah siklus plastis sebelum keruntuhan yang meningkat.
3. Sebagai elemen struktur dengan daktilitas tinggi, balok *link* pendek berpengaku badan vertikal merupakan disipator energi selama siklus plastis akibat pembebanan siklik.
4. Pada balok *link* pendek berpengaku badan, besarnya beban berpengaruh signifikan terhadap jumlah siklus plastis sebelum mengalami keruntuhan.

6.2. Saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan terhadap *link* pendek ($e \leq 1,6M_p/V_p$) berpengaku badan vertikal, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran antara lain:

1. Analisis kinerja dengan variasi pembebanan Δ_y perlu dilakukan pada balok *link* EBF sesuai ANSI/AISC 2010 tanpa pengaku badan vertikal, untuk dibandingkan dengan balok *link* EBF berpengaku badan vertikal sehingga dapat mengetahui secara signifikan pengaruh pengaku badan vertikal *link* terhadap jumlah siklus plastis.
2. Perlu dilakukan perhitungan jumlah disipasi energi yang dihasilkan dari setiap siklus plastis pada pembebanan siklik $1\Delta_y$, $2\Delta_y$, $5\Delta_y$, dan $10\Delta_y$ untuk mengetahui secara lebih rinci pengaruh pembebanan pada balok *link* berpengaku badan vertikal, terhadap disipasi energi yang dihasilkan pada setiap siklus plastis.

DAFTAR PUSTAKA

- ANSI/AISC, 2010, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, ANSI/AISC 341-10, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- ANSI/AISC, 2010, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- Abaqus/CAE 6.13, 2013, *Abaqus Theory Guide*, Simulia.
- Gunung Steel, 2017, *Product Catalogue*, PT. Gunung Garuda, Jakarta.
- SNI 1726, 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Becker, R. dan Ishler, M., 1996, *Seismic Design Practice For Eccentrically Braced Frame (Based On The 1994 UBC)*, Structural Steel Educational Council, Los Angeles.
- Patria, A.S.N., 2017, *Tinjauan Analisis Strut And Tie Model Untuk Memprediksi Kuat Geer Ultimit Pada Balok Tinggi-T Beton Bertulang*, Laporan Penelitian Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Puskim. (2018). Response Spectra Database Of Indonesia, Diperoleh 10 Januari 2018, dari http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/
- Rafael, J.W.M., 2017, *Studi Perilaku Dari Short Link, Intermediate Link, Dan Long Link Pada Sistem Struktur Eccentrically Braced Frame (EBF)*, Laporan Penelitian Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Suhendro, B., 2000, *Metode Elemen Hingga Dan Aplikasinya*, Jurusan Teknik Sipil FT UGM, Yogyakarta.

- Climont, A.B., 2007, "An Energy-Based Damage Model For Seismic Response Of Steel Structures", *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, vol. 671, no. 36, pp. 1049 - 1064.
- Flanagan, D.P. dan Belytschko, T., 1981, "A Uniform Strain Hexahedron And Quadrilateral With Hourglass Control", *International Journal For Numerical Methods In Engineering*, vol. 17, no. 5, pp. 679 – 706.
- Kasai, K. dan Popov, E.P., 1986, "General Behaviour Of WF Steel Shear Link Beams", *Journal Of The Structural Division*, vol. 112, no. 2, pp. 362 – 382.
- Kunnath, S.K. dan Chai, Y.H., 2004, "Cumulative Damage-Based Inelastic Cyclic Demand Spectrum", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 363, no. 33, pp. 499 – 520.
- Kurdi., Budiono, B. dan Yurisman., 2013, "Studi Numerik Peningkatan Kinerja Struktur Baja Eccentrically Braced Frame Type-D Dengan Modifikasi Pengaku Badan Link Geser", *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7*, vol. 7, no. 33, pp. 25 - 31.
- Moestopo, M. dan Panjaitan, M.A.R., 2012, "Kajian Eksperimental Peningkatan Kinerja Link Geser Pada Sistem Rangka Baja Berpengaku Eksentrik", *Jurnal Teknik sipil*, vol.19, no. 2, pp.93 – 102.
- Pirmoz., Akbar dan Merefat, M.S., 2014, "Reliability Assesment of Compression Column in Seismic EBFs", *Journal of Constructiona Steel Research*, vol. 104, no. 10, pp. 274 – 281.
- Popov, E.P. dan Engelhardt, M.D., 1988, "Seismic Eccentrically Braced Frames", *Journal Of Constructional Steel Research*, vol. 10, no. 34, pp. 321 – 354.

- Popov, E.P., Kasai, K. dan Engelhardt, M.D., 1987, "Advances in Design of Eccentrically Braced Frames", *The Professional Journal Of The Earthquake Engineering research institute*, vol. 3, no. 1, pp. 43 - 55.
- Richards, P.W. dan Uang, C.M., 2005, "Effect of Flange Width Thickness Ratio on Eccentrically Braced Frames Link Cyclic Rotation Capacity", *Journal of Structural Engineering*, vol. 131, no. 10, pp. 1546 - 1552.
- Ricles, J.M. dan Popov, E.P., 1994, "Inelastic Link Element for EBF Seismic Analysis", *Journal of Structural Engineering*, vol. 120, no. 2, pp. 441 - 463.
- Yurisman., Budiono, B., Moestopo, M. dan Suarjana, M., 2010, "Kajian Numerik Terhadap Kinerja Link Geser dengan Pengaku Diagonal pada Struktur Rangka Baja Berpenopang Eksentrik (EBF)", *Jurnal Teknik sipil*, vol.17, no. 1, pp. 25 – 38.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembebanan

Dalam perencanaan bangunan struktur *Eccentrically Braced Frames* (EBF) berdasarkan pada ANSI/AISC 2010, menggunakan profil tabel profil baja PT. Gunung Garuda dengan spesifikasi JIS G 3101 (2011) grade SS 540.

Berikut merupakan perhitungan pembebanan yang dibutuhkan sebagai data-data input pada *software Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems* (ETABS) *version* 2016 sesuai peraturan pembebanan pada SNI 1726:2012.

Beban atap (*roof load*)

<i>Metal deck</i>	0,000056	N/mm ²
<u><i>Concrete fill</i></u>	<u>0,002354</u>	<u>N/mm² +</u>
Beban mati (<i>dead load</i>), D	0,002410	N/mm ²
Beban rangka baja dan tahan api	0,000383	N/mm ²
<u>Beban atap</u>	<u>0,000335</u>	<u>N/mm² +</u>
Beban mati super (<i>super dead</i>), SD	0,000718	N/mm ²
Beban hidup (<i>life load</i>), L	0,000960	N/mm ²

Beban mati (<i>dead load</i>), D	0,002410	N/mm ²
Beban mati super (<i>super dead</i>), SD	0,000718	N/mm ²
<u>Beban hidup (<i>life load</i>), L</u>	<u>0,000960</u>	<u>N/mm² +</u>
Total beban (<i>total load</i>)	0,004087	N/mm ²

Beban lantai (*floor load*)

Metal deck	0,000056	N/mm ²
<u>Concrete fill</u>	<u>0,002824</u>	<u>N/mm² +</u>
Beban mati (<i>dead load</i>), D	0,002880	N/mm ²
Beban plafon dan <i>mechanical</i>	0,000239	N/mm ²
Beban sekat-sekat	0,000958	N/mm ²
Beban spesi	0,000206	N/mm ²
Beban kramik	0,000235	N/mm ²
<u>Beban rangka baja dan tahan api</u>	<u>0,000622</u>	<u>N/mm² +</u>
Beban mati super (<i>super dead</i>), SD	0,002260	N/mm ²
Beban hidup (<i>life load</i>), L	0,002400	N/mm ²
Beban mati (<i>dead load</i>), D	0,002880	N/mm ²
Beban mati super (<i>super dead</i>), SD	0,002260	N/mm ²
<u>Beban hidup (<i>life load</i>), L</u>	<u>0,002400</u>	<u>N/mm² +</u>
Total beban (<i>total load</i>)	0,007541	N/mm ²

Dinding (*curtain wall*)

Beban mati super (*super dead*), $SD = 0,001961 \text{ N/mm}^2$

Lampiran 2. Respon Spektrum

Untuk beban gempa (E) menggunakan beban dinamik berdasarkan kurva *response spectrum* sesuai peraturan dalam SNI-1726:2012. Berikut merupakan data Desain Spektra Indonesia dari www.puskim.pu.go.id pada daerah Kota Padang, Sumatera Barat, Indonesia dengan kelas situs adalah tanah sedang (D).

Lokasi : Kota Padang, Sumatera Barat, Indonesia

Kelas situs : Tanah sedang (D)

\bar{V}_s : 175 sampai 350 m/detik

\bar{N} atau \bar{N}_{ch} : 15 sampai 50

\bar{S}_u : 50 sampai 100 kPa

S_S : 1,3980 g (Periode 0,2 detik)

S_1 : 0,6000 g (Periode 1,0 detik)

Berdasarkan tabel 3.8 dan tabel 3.9 nilai F_v dan F_a dapat ditentukan dengan melihat hubungan antara kelas situs dan S_S serta kelas situs dan S_1 . Untuk parameter respon percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) serta parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) menggunakan persamaan (3.31), (3.32), (3.33), dan (3.34) berikut.

$$F_a = 1,00$$

$$F_v = 1,50$$

$$S_{MS} = F_a \times S_S = 1,00 \times 1,3980 = 1,3980$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,50 \times 0,6000 = 0,9000$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,3980 = 0,9320$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,9000 = 0,6000$$

Menentukan faktor keutamaan gempa (I_e) pada tabel 2.6 dengan melihat kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa. Untuk kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek ditentukan dalam tabel 3.10 dan 3.11 dengan melihat nilai $0,50 \leq S_{DS}$ dan $0,20 \leq S_{D1}$ serta kategori resiko.

Kategori resiko : II

Faktor keutamaan gempa, I_e : 1,00

Kategori desain seismik : D

Nilai R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa ditentukan pada tabel 3.12 dengan melihat sistem penahan yang digunakan pada struktur, dalam perencanaan ini adalah sistem rangka bangunan, rangka baja dengan bresing eksentris. Untuk nilai T_0 dan T_s ditentukan menggunakan persamaan (3.37), dan (3.38). Berikut adalah data spectrum respon desain untuk bangunan struktur *Eccentrically Braced Frames* (EBF).

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

$$S_a = S_{DS} \text{ untuk } T_0 \leq T \leq T_s$$

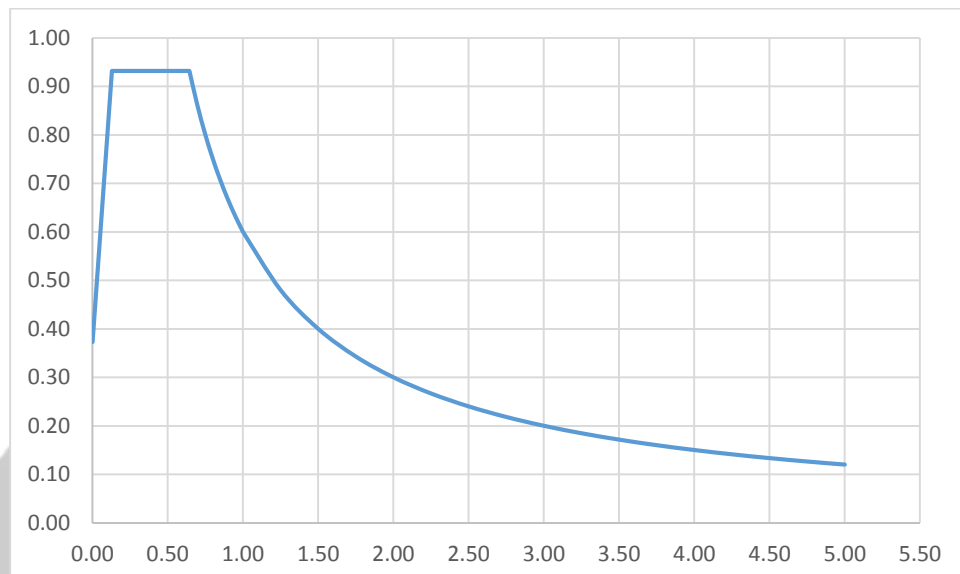
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \text{ untuk perioda } T > T_s$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,6000}{0,9320} = 0,1288$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,6000}{0,9320} = 0,6438$$

Tabel Hasil Perhitungan Respon Spektrum Desain Sesuai Peraturan Pada SNI 1726:2012 Periode 5,00 Detik.

No.	T	S _a	No.	T	S _a
1	0,0000	0,3728	21	0,8450	0,7101
2	0,0288	0,4977	22	0,8950	0,6704
3	0,0788	0,7148	23	0,9450	0,6349
4	0,1288	0,9320	24	0,9950	0,6030
5	0,1290	0,9320	25	1,0000	0,6000
6	0,1790	0,9320	26	1,2500	0,4800
7	0,2290	0,9320	27	1,5000	0,4000
8	0,2790	0,9320	28	1,7500	0,3429
9	0,3290	0,9320	29	2,0000	0,3000
10	0,3790	0,9320	30	2,2500	0,2667
11	0,4290	0,9320	31	2,5000	0,2400
12	0,4790	0,9320	32	2,7500	0,2182
13	0,5290	0,9320	33	3,0000	0,2000
14	0,5790	0,9320	34	3,2500	0,1846
15	0,6290	0,9320	35	3,5000	0,1714
16	0,6438	0,9320	36	3,7500	0,1600
17	0,6450	0,9302	37	4,0000	0,1500
18	0,6950	0,8633	38	4,2500	0,1412
19	0,7450	0,8054	39	4,5000	0,1333
20	0,7950	0,7547	40	4,7500	0,1263
			41	5,0000	0,1200



Gambar grafik hasil perhitungan Respon Spektrum sesuai peraturan pada SNI 1726:2012 periode 5,00 detik.

Lampiran 3. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam proses analisis pada *software* Etabs *version* 2016 sesuai dalam peraturan SNI-1726:2012 merupakan kombinasi beban untuk metoda ultimit point 1, 2, 3, 5, dan 7.

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5(L_T atau R)
3. 1,2D + 1,6(L_T atau R) + (L atau 0,5W)
4. 1,2D + 1,0E + L
5. 0,9D + 1,0E

Berdasarkan perhitungan analisis gempa termasuk kategori desain seismik D, dimana memiliki faktor (ρ) redudansi sebesar 1,30. Berikut merupakan kombinasi pembebanan dengan beban gempa pada kombinasi 5 dan 7 sesuai SNI

1726:2012 dengan memasukan faktor (ρ) redundansi pada beban gempa arah x dan beban gempa arah y.

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk kombinasi 5} &= 1,2D + 1,0E + 1,0L \\
 &= 1,2D + 1,0(\rho E_{qx} + 0,3 \rho E_{qy} - 0,2 S_{DS} D) + 1,0L \\
 &= (1,2 - 0,2 S_{DS})D + 1,3E_{qx} + (0,3 \times 1,3)E_{qy} + 1,0L \\
 &= 1,0136D + 1,30E_{qx} + 0,39E_{qy} + 1,0L
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk kombinasi 7} &= 0,9D + 1,0E \\
 &= 0,9D + 1,0(\rho E_{qx} + 0,3 \rho E_{qy} - 0,2 S_{DS} D) \\
 &= (0,9 - 0,2 S_{DS})D + 1,3E_{qx} + (0,3 \times 1,3)E_{qy} \\
 &= 0,7136D + 1,30E_{qx} + 0,39E_{qy}
 \end{aligned}$$

Dengan memasukan faktor redundansi pada kombinasi 5 dan kombinasi 7 sesuai peraturan SNI 1726:2012 maka kombinasi pembebanan yang dipakai dalam proses analisis menggunakan *software* ETABS *version* 2016 seperti berikut.

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$
3. $1,2D + 1,6L_r + 1,0L$
4. $1,0136D + 1,30E_{qx} + 0,39E_{qy} + 1,0L$
5. $1,0136D + 1,30E_{qx} - 0,39E_{qy} + 1,0L$
6. $1,0136D - 1,30E_{qx} + 0,39E_{qy} + 1,0L$
7. $1,0136D - 1,30E_{qx} - 0,39E_{qy} + 1,0L$
8. $1,0136D + 0,39E_{qx} + 1,30E_{qy} + 1,0L$
9. $1,0136D - 0,39E_{qx} + 1,30E_{qy} + 1,0L$
10. $1,0136D + 0,39E_{qx} - 1,30E_{qy} + 1,0L$

$$11. 1,0136D - 0,39Eq_x - 1,30Eq_y + 1,0L$$

$$12. 0,7136D + 1,30Eq_x + 0,39Eq_y$$

$$13. 0,7136D + 1,30Eq_x - 0,39Eq_y$$

$$14. 0,7136D - 1,30Eq_x + 0,39Eq_y$$

$$15. 0,7136D - 1,30Eq_x - 0,39Eq_y$$

$$16. 0,7136D + 0,39Eq_x + 1,30Eq_y$$

$$17. 0,7136D + 0,39Eq_x - 1,30Eq_y$$

$$18. 0,7136D - 0,39Eq_x + 1,30Eq_y$$

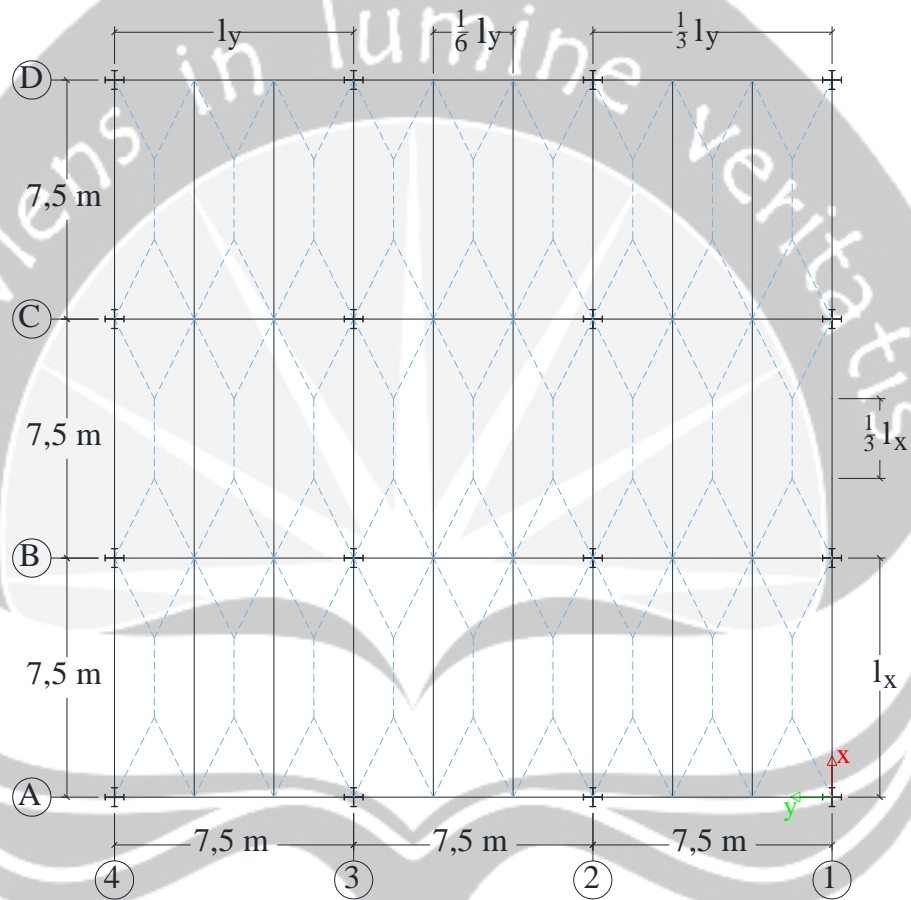
$$19. 0,7136D - 0,39Eq_x - 1,30Eq_y$$

Lampiran 3. Penentuan Balok Anak

Balok anak arah sumbu x, direncanakan untuk setiap lantai struktur EBF, menggunakan profil IWF 200X100 produksi PT. Gunung Garuda, dengan data-data profil adalah:

F_y	=	400,0000 Mpa	A_g	=	2.716,0000 mm ²
F_u	=	540,0000 Mpa	r_x	=	82,4000 mm
E	=	200.000,0000 Mpa	r_y	=	22,2000 mm
d	=	200,0000 mm	Z_x	=	184.000,0000 mm ³
b_f	=	100,0000 mm	Z_y	=	26.800,0000 mm ³
w, w_a	=	0,2089 N/mm	A_f	=	1.600,0000 mm ²
t_f	=	8,0000 mm	h	=	184,0000 mm
t_w	=	5,5000 mm			
r	=	11,0000 mm			

Balok yang dikontrol adalah balok anak dengan P_u max. Kontrol daktilitas elemen badan (*web*), dan elemen sayap (*flens*) dari profil IWF 200X100 yang digunakan sebagai balok anak. Berikut penentuan P_u max, λ_{hd} , λ_{hd} , serta λ sesuai tabel 3.4.



$$\begin{aligned}
 P_{L1} &= L_f \times \left(l_x + \frac{1}{3} l_x \right) \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{6} l_y \right) \times 2 + l_x \times w_a \\
 &= 0,002400 \times \left(7.500 + \frac{1}{3} 7.500 \right) \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{6} 7.500 \right) \times 2 + 7.500 \times 0,2089 \\
 &= 31.566,7500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{D1} &= (D_f + SD_f) \times (l_x + \frac{1}{3}l_x) \times (\frac{1}{2} \times \frac{1}{6}l_y) \times 2 + l_x \times w_a \\
 &= 0,005141 \times (7.500 + \frac{1}{3}7.500) \times (\frac{1}{2} \times \frac{1}{6}7.500) \times 2 + 7.500 \times 0,2089 \\
 &= 65.824,4401 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menentukan P_u max dengan mengambil nilai P_u terbesar antara P_u dari hasil kombinasi pembebanan 1, 2, dan 3 berikut.

Kombinasi 1:

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,4 P_{D1} \\
 &= 1,4 \times 65.824,4401 \\
 &= 92.154,2161 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kombinasi 2:

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,2 P_{D1} + 1,6 P_{L1} \\
 &= 1,2 \times 65.824,4401 + 1,6 \times 31.566,7500 \\
 &= 129.496,1281 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kombinasi 3:

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,2 P_{D1} + 1,0 P_{L1} \\
 &= 1,2 \times 65.824,4401 + 1,0 \times 31.566,7500 \\
 &= 110.585,0594 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_u \text{ max} = 129.496,1281 \text{ N}$$

Menentukan nilai P_y , C_a , serta daktilitas elemen badan, dan sayap profil sesuai tabel 3.4. Faktor ketahanan terhadap tekan (ϕ_c) dipakai 0,90 sesuai bagian 2.3.2.

$$\begin{aligned}
 P_y &= F_y \times A_g \\
 &= 400,00 \times 2.716,00 \\
 &= 1.086.400,0000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi_c = 0,9000$$

$$\begin{aligned}
 C_a &= \frac{P_u \text{ max}}{\phi_c \times P_y} \\
 &= \frac{129.496,1281}{0,90 \times 1.086.400,0000} \\
 &= 0,1324
 \end{aligned}$$

Kontrol daktilitas elemen sayap profil (*flens*)

$$\lambda_{hd} = 0,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,30 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 6,7082$$

$$\lambda_{md} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 8,4971$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2 t_f} = \frac{100,00}{2 \times 8,00} = 6,2500$$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_{hd}$

$$6,2500 \leq 6,7082$$

Daktilitas tinggi

Kontrol daktilitas elemen badan profil (*web*)

Pada elemen badan profil untuk nilai $C_a > 0,125$ maka λ_{hd} dan λ_{hd} adalah sebagai berikut:

$$\lambda_{hd} \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$0,77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2,93 - C_a) \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$0,77 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} (2,93 - 0,1324) \geq 1,49 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}}$$

$$48,1676 \geq 33,3174$$

$$\lambda_{md} \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2,33 - C_a) \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$1,12 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} (2,33 - 0,1324) \geq 1,49 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}}$$

$$55,0356 \geq 33,3174$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{184,00}{5,50} = 33,4545$$

$$\text{Karena nilai } \lambda \leq \lambda_{hd}$$

$$33,4545 \leq 48,1676 \quad \text{Daktalitas tinggi}$$

Kontrol penampang kompak

Kontrol penampang kompak sesuai tabel 3.3 untuk menentukan rasio kelangsingan elemen profil (λ), batasan rasio kompak (λ_p), dan batasan rasio tidak kompak (λ_r).

Kontrol elemen sayap profil balok anak

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 8,4971$$

$$\lambda_r = 1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,00 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 22,3607$$

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f} = \frac{100,00}{8,00} = 12,5000$$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_r$
 $12,5000 \leq 22,3607$ Penampang tidak kompak

Kontrol elemen badan profil balok anak

$$\lambda_p = 0,36 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,36 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 8,0498$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 127,4559$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{184,00}{5,50} = 33,4545$$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_r$
 $33,4545 \leq 127,4559$ Penampang tidak kompak

Kontrol momen pada balok anak arah sumbu x

M_{\max} dari hasil analisis ETABS *version* 2016 pada balok anak harus lebih kecil dari M_p . Penentuan nilai M_p menggunakan persamaan (3.27) berikut.

$$M_{\max} = 19.733.900,0000 \text{ N-mm}$$

$$\begin{aligned} M_p &= F_y Z_x \\ &= 400,00 \times 184.000,00 \\ &= 73.600.000,0000 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

Karena nilai	M_{\max}	\leq	M_p	
	19.733.900,0000	\leq	73.600.000,0000	Kontrol ok

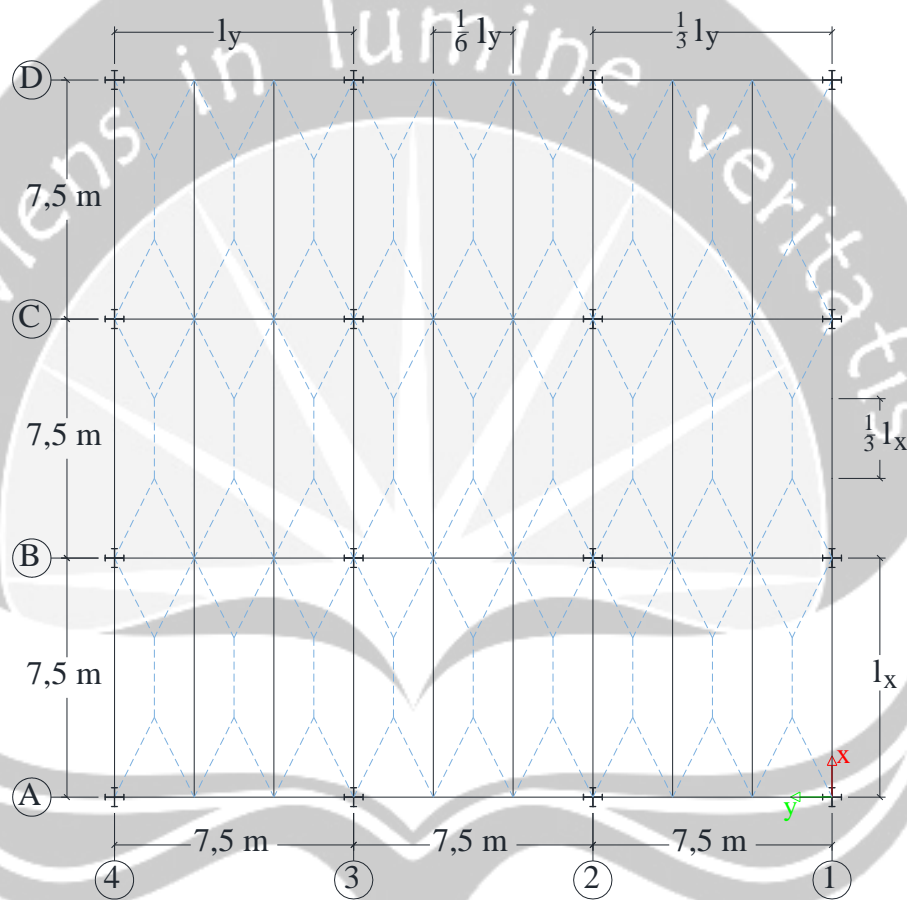
Lampiran 5. Penentuan Balok Induk Arah X

Balok induk direncanakan menggunakan profil IWF 600X300 produksi PT.

Gunung Garuda, dengan data-data profil adalah:

$F_y = 400,0000 \text{ Mpa}$	$A_g = 19.250,0000 \text{ mm}^2$
$F_u = 540,0000 \text{ Mpa}$	$r_x = 248,0000 \text{ mm}$
$E = 200.000,0000 \text{ Mpa}$	$r_y = 68,5000 \text{ mm}$
$d = 588,0000 \text{ mm}$	$Z_x = 4.020.000,0000 \text{ mm}^3$
$b_f = 300,0000 \text{ mm}$	$Z_y = 601.000,0000 \text{ mm}^3$
$w, w_i = 1,4808 \text{ N/mm}$	$A_f = 12.000,0000 \text{ mm}^2$
$t_f = 20,0000 \text{ mm}$	$h = 548,0000 \text{ mm}$
$t_w = 12,0000 \text{ mm}$	
$r = 28,0000 \text{ mm}$	

Balok induk yang dikontrol adalah balok induk arah sumbu x dengan P_u max. Kontrol daktilitas elemen badan, dan elemen sayap dari profil IWF 600X300 yang digunakan sebagai balok anak. Berikut penentuan P_u max, λ_{hd} , λ_{hd} , serta λ sesuai tabel 3.4.



$$\begin{aligned}
 P_{L2} &= L_f \times \left(l_x + \frac{1}{3} l_x \right) \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{6} l_y \right) \times 2 + l_x \times w_i \\
 &= 0,002400 \times \left(7.500 + \frac{1}{3} 7.500 \right) \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{6} 7.500 \right) \times 2 + 7.500 \times 1,4808 \\
 &= 41.106,0000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{D2} &= (D_f + SD_f) \times (l_x + \frac{1}{3}l_x) \times (\frac{1}{2} \times \frac{1}{6}l_y) \times 2 + l_x \times w_i \\
 &= 0,005141 \times (7.500 + \frac{1}{3}7.500) \times (\frac{1}{2} \times \frac{1}{6}7.500) \times 2 + 7.500 \times 1,4808 \\
 &= 75.363,6901 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menentukan P_u max dengan mengambil nilai P_u terbesar antara P_u dari hasil kombinasi pembebanan 1, 2, dan 3 berikut.

Kombinasi 1:

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,4 P_{D2} \\
 &= 1,4 \times 75.363,6901 \\
 &= 100.875,5160 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kombinasi 2:

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,2 P_{D2} + 1,6 P_{L2} \\
 &= 1,2 \times 75.363,6901 + 1,6 \times 41.106,0000 \\
 &= 156.206,0281 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kombinasi 3:

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,2 P_{D2} + 1,0 P_{L2} \\
 &= 1,2 \times 75.363,6901 + 1,0 \times 41.106,0000 \\
 &= 131.542,4281 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_u \text{ max} = 156.206,0281 \text{ N}$$

Menentukan nilai P_y , C_a , serta daktilitas elemen badan, dan sayap profil sesuai tabel 3.4. Faktor ketahanan terhadap tekan (ϕ_c) dipakai 0,90 sesuai bagian 2.3.2.

$$\begin{aligned} P_y &= F_y \times A_g \\ &= 400,00 \times 19.250,00 \\ &= 7.700.000,0000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi_c = 0,9000$$

$$\begin{aligned} C_a &= \frac{P_u \text{ max}}{\phi_c \times P_y} \\ &= \frac{156.206,0281}{0,90 \times 7.700.000,0000} \\ &= 0,0225 \end{aligned}$$

Kontrol daktilitas elemen sayap profil (*flens*)

$$\lambda_{hd} = 0,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,30 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 6,7082$$

$$\lambda_{md} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 8,4971$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2 t_f} = \frac{200,00}{2 \times 20,00} = 7,5000$$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_{hd}$

$$7,5000 \leq 6,7082$$

Daktilitas tinggi

Kontrol daktilitas elemen badan profil (*web*)

Pada elemen badan profil untuk nilai $C_a \leq 0,125$ maka λ_{hd} dan λ_{md} adalah sebagai berikut:

$$\lambda_{hd} = 2,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0,93C_a) = 53,6353$$

$$\lambda_{md} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2,75C_a) = 78,8646$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{548,00}{12,00} = 45,6667$$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_{hd}$
 $45,6667 \leq 53,6353$ Daktilitas tinggi

Lampiran 6. Penentuan Balok Induk Arah Y

Balok induk arah sumbu y yang direncanakan menggunakan profil yang sama dengan balok induk arah sumbu x yaitu profil IWF 600X300 produksi PT. Gunung Garuda. Balok induk yang dikontrol adalah balok induk arah sumbu y dengan P_u max.

Kontrol daktilitas elemen badan, dan elemen sayap dari profil IWF 600X300 yang digunakan sebagai balok induk. Berikut penentuan P_u max, λ_{hd} , λ_{md} , serta λ sesuai tabel 3.4.

$$\begin{aligned} P_{L2} &= L_f \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{3} l_y \times \frac{1}{3} l_x \right) \times 6 + (l_y \times w_i) + 4 \times \left(\frac{1}{2} l_x \times w_a \right) \\ &= 0,002400 \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{3} 7.500 \times \frac{1}{3} 7.500 \right) \times 6 + \end{aligned}$$

$$(7.500 \times 1,4808) + 4 \times \left(\frac{1}{2} 7.500 \times 0,2089\right)$$

$$= 59.239,5000 \text{ N}$$

$$P_{D2} = (D_f + SD_f) \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{3} l_y \times \frac{1}{3} l_x\right) \times 6 + (l_y \times w_i) + 4 \times \left(\frac{1}{2} l_x \times w_a\right)$$

$$= 0,005141 \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{3} 7.500 \times \frac{1}{3} 7.500\right) \times 6 +$$

$$(7.500 \times 1,4808) + 4 \times \left(\frac{1}{2} 7.500 \times 0,2089\right)$$

$$= 110.626,0352 \text{ N}$$

Menentukan P_u max dengan mengambil nilai P_u terbesar antara P_u dari hasil kombinasi pembebanan 1, 2, dan 3 berikut.

Kombinasi 1:

$$\begin{aligned} P_u &= 1,4 P_{D2} \\ &= 1,4 \times 110.626,0352 \\ &= 154.876,4492 \text{ N} \end{aligned}$$

Kombinasi 2:

$$\begin{aligned} P_u &= 1,2 P_{D2} + 1,6 P_{L2} \\ &= 1,2 \times 110.626,0352 + 1,6 \times 59.239,5000 \\ &= 227.534,4422 \text{ N} \end{aligned}$$

Kombinasi 3:

$$\begin{aligned} P_u &= 1,2 P_{D2} + 1,0 P_{L2} \\ &= 1,2 \times 110.626,0352 + 1,0 \times 59.239,5000 \\ &= 191.990,7422 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u \text{ max} = 227.534,4422 \text{ N}$$

Menentukan nilai P_y , C_a , serta daktilitas elemen badan, dan sayap profil sesuai tabel 3.4. Faktor ketahanan terhadap tekan (ϕ_c) dipakai 0,90 sesuai bagian 2.3.2.

$$\begin{aligned} P_y &= F_y \times A_g \\ &= 400,00 \times 19.250,00 \\ &= 7.700.000,0000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi_c = 0,9000$$

$$\begin{aligned} C_a &= \frac{P_u \text{ max}}{\phi_c \times P_y} \\ &= \frac{227.534,4422}{0,90 \times 7.700.000,0000} \\ &= 0,0328 \end{aligned}$$

Kontrol daktilitas elemen sayap profil (*flens*)

$$\lambda_{hd} = 0,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,30 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 6,7082$$

$$\lambda_{md} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 8,4971$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2 t_f} = \frac{300,00}{2 \times 20,00} = 7,5000$$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_{hd}$

$$7,5000 \leq 6,7082$$

Daktalitas tinggi

Kontrol daktalitas elemen badan profil (*web*)

Pada elemen badan profil (*web*) untuk nilai $C_a \leq 0,125$ maka λ_{hd} dan λ_{hd} adalah sebagai berikut:

$$\lambda_{hd} = 2,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0,93C_a) = 53,1109$$

$$\lambda_{md} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2,75C_a) = 76,4848$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{548,00}{12,00} = 45,6667$$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_{hd}$

$$45,6667 \leq 53,1109$$

Daktalitas tinggi

Kontrol Penampang Kompak Balok Induk Arah X, Dan Arah Y

Kontrol penampang kompak sesuai tabel 3.3 untuk menentukan rasio kelangsingan elemen profil (λ), batasan rasio kompak (λ_p), dan batasan rasio tidak kompak (λ_r).

Kontrol elemen sayap profil balok induk

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 8,4971$$

$$\lambda_r = 1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,00 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 22,3607$$

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f} = \frac{300,00}{20,00} = 7,5000$$

Karena nilai $\lambda = 7,5000 \leq \lambda_r = 22,3607$ Penampang kompak

Kontrol elemen badan profil balok induk

$$\lambda_p = 0,36 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,36 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 8,0498$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 127,4559$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{548,00}{12,00} = 45,6667$$

Karena nilai $\lambda = 45,6667 \leq \lambda_r = 127,4559$ Penampang tidak kompak

Kontrol Geser Serta Momen Balok Induk Arah X, Dan Arah Y

Nilai V_{\max} , dan M_{\max} ditentukan berdasarkan gaya geser maksimum dari balok induk hasil analisis *software* ETABS *version* 2016. Syarat pada kontrol geser, nilai V_{\max} lebih kecil dari atau sama dengan $\phi_v V_n$, sedangkan untuk kontrol momen nilai M_{\max} lebih kecil dari atau sama dengan M_p .

$$V_{\max} = 354.249,2000 \text{ N}$$

$$M_{\max} = 300.904.200,0000 \text{ N-mm}$$

Kontrol geser balok induk, nilai V_n ditentukan menggunakan persamaan

(3.25). Untuk C_v , dan ϕ_v ditentukan dengan ketentuan $h/t_w \leq 2,24 \sqrt{E/F_y}$.

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{548,00}{12,00} \leq 2,24 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}}$$

$$45,6667 \leq 50,0879 \quad \text{Kontrol ok}$$

Karena $h/t_w \leq 2,24 \sqrt{E/F_y}$ maka C_v , dan ϕ_v adalah:

$$\phi_v = 1,00$$

$$C_v = 1,00$$

$$A_w = d t_w$$

$$= 588,00 \times 12,00$$

$$= 7.056,0000 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v$$

$$= 0,6 \times 400,00 \times 7.056,00 \times 1,00$$

$$= 1.693.440,0000 \text{ N}$$

$$\phi_v V_n = 1,00 \times 1.693.440,00$$

$$= 1.693.440,0000 \text{ N}$$

$$\text{Karena nilai } V_{\max} \leq \phi_v V_n$$

$$354.249,2000 \leq 1.693.440,0000 \quad \text{Kontrol ok}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p \\
 &= F_y Z_x \\
 &= 400,00 \times 4.020.000,00 \\
 &= 1.608.000.000,0000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena nilai $M_{\max} \leq M_p$

$$300.904.200,0000 \leq 1.608.000.000,0000 \text{ Kontrol ok}$$

Lampiran 7. Penentuan Balok *Link* Arah X, Dan Arah Y

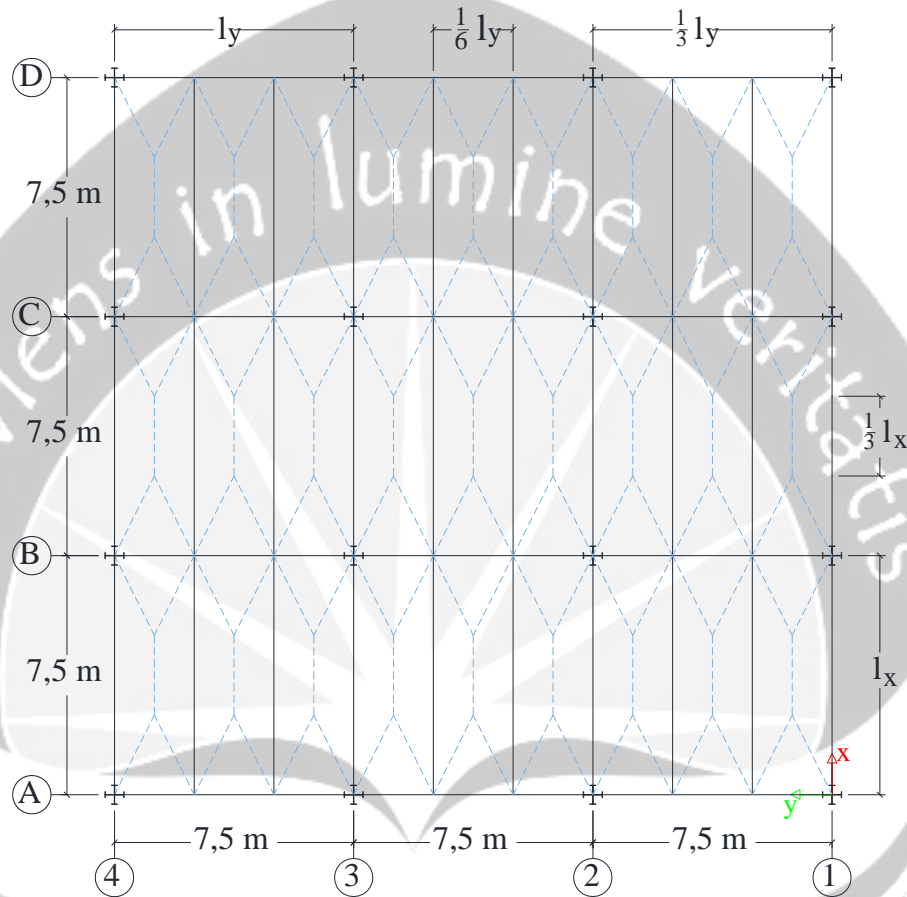
Balok *link* dalam arah sumbu x dan sumbu y direncanakan menggunakan profil IWF 600X200 produksi PT. Gunung Garuda, dengan data-data profil adalah:

F_y	=	400,0000 Mpa	A_g	=	13.440,0000 mm ²
F_u	=	540,0000 Mpa	r_x	=	240,0000 mm
E	=	200.000,0000 Mpa	r_y	=	41,2000 mm
d	=	600,0000 mm	Z_x	=	2.590.000,0000 mm ³
b_f	=	200,0000 mm	Z_y	=	228.000,0000 mm ³
w	=	1,0395 N/mm	A_f	=	6.800,0000 mm ²
t_f	=	17,0000 mm	h	=	566,0000 mm
t_w	=	11,0000 mm			
r	=	22,0000 mm			

Balok *link* yang rencanakan adalah balok *link* arah sumbu x, dan arah sumbu y. *Link* yang ingin digunakan adalah *link* pendek (*short link*) yang dominan terhadap geser yang ditentukan pada tabel 3.1 dimana $e \leq 1,6 M_p/V_p$.

Untuk panjang *link* pendek (*short link*) diasumsikan adalah 1,00 meter.

Berikut penentuan P_u max, dan P_y sesuai persamaan (3.11).



$$P_{Lx} = L_f \times \left(e \times \frac{1}{6} l_y \right) \times 2 + (e \times w)$$

$$= 0,002400 \times \left(1.000 \times \frac{1}{6} 7.500 \right) \times 2 + (1.000 \times 1,0395)$$

$$= 7.039,5000 \text{ N}$$

$$P_{Dx} = (D_f + SD_f) \times \left(e \times \frac{1}{6} l_y \right) \times 2 + (e \times w)$$

$$= 0,005141 \times \left(1.000 \times \frac{1}{6} 7.500 \right) \times 2 + (1.000 \times 1,0395)$$

$$= 13.891,0380 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Ly} &= L_f \times \left((2e \times \frac{1}{3}) \times \frac{1}{3} l_x \right) \times 2 + (e \times w) \\
 &= 0,002400 \times \left((2 \times 1.000 \times \frac{1}{3}) \times \frac{1}{3} 7.500 \right) \times 2 + (1.000 \times 1,0395) \\
 &= 1.042,7000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Dy} &= (D_f + SD_f) \times \left((2e \times \frac{1}{3}) \times \frac{1}{3} l_x \right) \times 2 + (e \times w) \\
 &= 0,005141 \times \left((2 \times 1.000 \times \frac{1}{3}) \times \frac{1}{3} 7.500 \right) \times 2 + (1.000 \times 1,0395) \\
 &= 1.046,3542 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menentukan P_u max dengan mengambil nilai P_u terbesar antara P_u dari hasil kombinasi pembebanan 1, 2, dan 3 berikut. Nilai P_L , dan P_D yang digunakan dalam kombinasi pembebanan diambil nilai P_L max, dan P_D max dari P_{Lx} , P_{Dx} , P_{Ly} , dan P_{Dy} pada perhitungan sebelumnya.

Kombinasi 1:

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,4 P_{Dx} \\
 &= 1,4 \times 13.891,0380 \\
 &= 19.447,4532 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kombinasi 2:

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,2 P_{Dx} + 1,6 P_{Lx} \\
 &= 1,2 \times 13.891,0380 + 1,6 \times 7.039,5000 \\
 &= 27.932,4456 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kombinasi 3:

$$\begin{aligned} P_u &= 1,2 P_{Dx} + 1,0 P_{Lx} \\ &= 1,2 \times 13.891,0380 + 1,0 \times 7.039,5000 \\ &= 23.708,7456 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u \text{ max} = 27.932,4456 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} P_y &= f_y \times A_g \\ &= 400,00 \times 13.440,00 \\ &= 5.376.000,0000 \text{ N} \end{aligned}$$

Menentukan kuat geser *link* ($\phi_v V_n$), dan kuat geser ijin (V_n/Ω_v) berdasarkan nilai terendah yang sesuai dengan batas dari keluluhan geser pada badan dan keluluhan lentur pada keseluruhan penampang. Untuk menentukan kuat geser *link* dan kuat geser ijin, terlebih dahulu menentukan nilai P_r/P_c sebagai kontrol penentuan V_p sesuai persamaan (3.7), dan (3.8).

$$\begin{aligned} P_r &= P_u \\ &= 27.482,2056 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_c &= P_y \\ &= 4.569.200,0000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{P_r}{P_c} &= \frac{27.482,2056}{4.569.200,000} \\ &= 0,0060 \end{aligned}$$

$$\frac{P_r}{P_c} \leq 0,1500$$

$$0,0060 \leq 0,1500$$

Karena $P_r/P_c \leq 0,1500$ maka nilai V_p , dan M_p dapat dihitung dengan persamaan (3.7), dan (3.13). Untuk A_{lw} dapat dihitung menggunakan persamaan (3.9) berikut.

$$\begin{aligned} A_{lw} &= (d - 2t_f) t_w \\ &= (600,00 - 2 \times 17,00) 11,00 \\ &= 6.226,0000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$V_n = V_p = 0,6 f_y A_{lw} = 1.494.240,00 \text{ N}$$

$$M_p = f_y Z_x = 400,00 \times 2.590.000,00 = 1.036.000.000,00 \text{ N}$$

Untuk menentukan panjang *link* (e) terlebih dahulu menentukan ρ' sebagai kontrol penentuan syarat panjang *link* sesuai persamaan (3.15), dan (3.16). Nilai V_r , dan V_c dihitung sesuai persamaan pada bagian 3.3.1.4.

$$\phi_v = 0,9000$$

$$V_r = V_u = \phi_v V_n = 1.344.816,0000 \text{ N}$$

$$V_c = V_y = 0,6 F_y A_{lw} = 1.494.240,0000 \text{ N}$$

$$\rho' = \frac{P_r / P_c}{V_r / V_c} = \frac{0,0052}{0,9000} = 0,0058$$

$$\rho' \leq 0,1500$$

$$0,0058 \leq 0,1500$$

Karena $\rho' \leq 0,1500$ maka nilai e dapat ditentukan sesuai persamaan (3.15)

berikut ini.

$$e \leq \frac{1,6 M_p}{V_p}$$

$$e \leq \frac{1,6 \times 1.036.000.000,00}{1.494.240,00}$$

$$e \leq 1.109,3265 \text{ mm}$$

Berdasarkan syarat panjang $e \leq 1.109,3265$ mm, maka panjang *link* (e) dipakai dalam perencanaan struktur EBF 20 lantai adalah 1.000,000 mm.

Menentukan nilai C_a , serta daktilitas elemen badan, dan sayap profil sesuai tabel 3.4. Faktor ketahanan terhadap tekan (ϕ_c) dipakai 0,90 sesuai bagian 3.3.2.

$$\phi_c = 0,9000$$

$$\begin{aligned} C_a &= \frac{P_u \max}{\phi_c \times P_y} \\ &= \frac{27.932,4456}{0,90 \times 5.376.000,0000} \\ &= 0,0058 \end{aligned}$$

Kontrol daktilitas elemen sayap profil (*flens*)

$$\lambda_{hd} = 0,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,30 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 6,7082$$

$$\lambda_{md} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 8,4971$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2 t_f} = \frac{200,00}{2 \times 17,00} = 5,8824$$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_{hd}$

$$5,8824 \leq 6,7082$$

Daktalitas tinggi

Kontrol daktalitas elemen badan profil (*web*)

Pada elemen badan profil untuk nilai $C_a \leq 0,125$ maka λ_{hd} dan λ_{md} adalah sebagai berikut:

$$\lambda_{hd} = 2,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0,93C_a) = 54,4895$$

$$\lambda_{md} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2,75C_a) = 82,7414$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{566,00}{11,00} = 51,4545$$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_{hd}$

$$51,4545 \leq 54,4895$$

Daktalitas tinggi

Kontrol Geser Elemen Balok *Link* Arah X, Dan Arah Y

Untuk nilai V_{max} diambil gaya geser maksimum pada balok *link* arah x dan arah y dari hasil analisis menggunakan *software* ETABS *version* 2016. Gaya geser maksimum (V_{max}) yang terjadi pada balok *link* lantai 2. Syarat pada kontrol geser, nilai V_{max} lebih kecil dari atau sama dengan V_u .

$$V_u = 1.344.816,0000 \text{ N}$$

$$V_{max} = 266.356,1000 \text{ N}$$

Karena nilai $V_{max} \leq V_u$

$$266.356,1000 \leq 1.344.816,0000$$

Kontrol ok

Kontrol Sudut Rotasi Balok *Link* Arah X, Dan Arah Y

Untuk sudut rotasi *link* (γ_p), ditentukan menggunakan persamaan (3.1).

Panjang efektif *link* ditentukan berdasarkan sudut rotasi *link* (γ_p) pada bagian

3.3.1.1.

$$\Delta_p = 2,8962 \text{ mm}$$

$$h = 4.000,0000 \text{ mm}$$

$$\theta_p = \frac{\Delta_p}{h} = \frac{2,8962}{4.000,00} = 0,0007 \text{ rad}$$

$$\gamma_p = \frac{L}{e} \theta_p = \frac{7.500,00}{1.000,00} \times 0,0007 = 0,0054 \text{ rad}$$

Sudut rotasi *link* (γ_p) $\leq 0,02$ rad menunjukkan sesuai syarat panjang efektif *link* adalah $e \leq 2,6 M_p/V_p$, tetapi karena yang akan dipakai adalah *link* pendek (*short link*) maka panjang *link* terpakai adalah $e \leq 1,6 M_p/V_p$. Menggunakan *short link* tetap aman, karena masih masuk dalam syarat, dimana untuk sudut rotasi *link* $\leq 0,08$ rad.

Lampiran 8. Penentuan *Braced*

Perencanaan *braced* dalam arah sumbu x dan arah sumbu y bangunan, direncanakan untuk setiap lantai struktur EBF, menggunakan profil HSS 180X180 produksi PT. Gunung Garuda, berikut data-data profil dari *braced*.

$$\begin{array}{ll}
 R_y & = 1,4000 & t & = 12,0000 \text{ mm} \\
 F_y & = 400,0000 \text{ Mpa} & A_g & = 7.445,0000 \text{ mm}^2 \\
 F_u & = 540,0000 \text{ Mpa} & r_x & = 66,8000 \text{ mm} \\
 E & = 200.000,0000 \text{ Mpa} & r_y & = 66,8000 \text{ mm} \\
 d & = 180,0000 \text{ mm} & Z_x & = 369.089,0000 \text{ mm}^3 \\
 b_f & = 180,0000 \text{ mm} & Z_y & = 369.089,0000 \text{ mm}^3 \\
 w & = 0,5731 \text{ N/mm} & h & = 156,0000 \text{ mm}
 \end{array}$$

P_{\max} terpakai adalah nilai P *braced* dari hasil analisis *software* ETABS *version* 2016, yaitu *braced* pada lantai 2 arah x. Kontrol daktilitas elemen sayap dan badan dari profil yang digunakan sebagai *braced* sesuai tabel 3.4.

$$P_{\max} = 325.019,3000 \text{ N}$$

Kontrol daktilitas elemen profil

$$\lambda_{hd} = 0,55 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,55 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 12,2984$$

$$\lambda_{md} = 0,64 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,64 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 14,3108$$

$$b = b_f - 2t = 180,00 - 2 \times 12,00 = 156,0000$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{156,00}{12,00} = 13,0000$$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_{md}$
 $13,0000 \leq 14,3108$ Daktalitas sedang

Kontrol Penampang Kompak *Braced*

Kontrol penampang kompak sesuai tabel 3.3 untuk menentukan rasio kelangsingan elemen profil (λ), batasan rasio kompak (λ_p), dan batasan rasio tidak kompak (λ_r).

Kontrol elemen sayap profil *braced*

$$\lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 25,0440$$

$$\lambda_r = 1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,40 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 31,3050$$

$$\lambda = \frac{b_f}{t} = \frac{180,00}{12,00} = 15,0000$$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_p$
 $15,0000 \leq 25,0440$ Penampang kompak

Kontrol elemen badan profil *braced*

$$\lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,42 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 54,1128$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5,70 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} = 127,4559$$

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{156,00}{12,00} = 13,0000$$

Karena nilai $\lambda \leq \lambda_p$
 $45,6667 \leq 54,1128$ Penampang kompak

Kontrol kekuatan *braced*

Kontrol kekuatan *braced* baik terhadap tarik dan tekan sesuai pada bagian 3.3.2. Untuk mencari nilai P_{nt} dan P_{nc} menggunakan persamaan (3.20), dan (3.21). Nilai perkiraan faktor panjang efektif (K) untuk kondisi ujung-ujung elemen adalah jepit-jepit berdasarkan tabel 3.2 dipakai adalah 0,65.

$$\begin{aligned} L_{2-20} &= \sqrt{L_{bd}^2 + h_2^2} \\ &= \sqrt{3,25^2 + 4,00^2} \\ &= 5,1539 \text{ m} \\ &= 5.153,8820 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_1 &= \sqrt{L_{bd}^2 + h_1^2} \\ &= \sqrt{3,25^2 + 3,50^2} \\ &= 4,7762 \text{ m} \\ &= 4.776,2433 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L_{\max} = 5.153,8820 \text{ mm}$$

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{0,65 \times 5.153,8820}{66,8000} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}}$$

$$50,1500 \leq 105,3188$$

Karena $KL/r \leq 4,71 \sqrt{E/F_y}$ maka tegangan kritis (F_{cr}) ditentukan menggunakan persamaan (3.22) berikut. Untuk tegangan tekuk elastis (F_e) dihitung menggunakan persamaan (3.24).

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 784,0550 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y = 323,0908 \text{ MPa}$$

Kekuatan desain *braced* terhadap tarik ($\phi_t P_{nt}$) harus lebih besar dari P_{max} .

Kekuatan tarik nominal (P_{nt}) dihitung menggunakan persamaan (3.20), serta faktor tahanan terhadap tarik (ϕ_t) adalah 0,90 pada bagian 3.3.2.

$$P_{max} = 325.019,3000 \text{ N}$$

$$\phi_t = 0,90$$

$$\begin{aligned} P_{nt} &= R_y F_y A_g \\ &= 1,40 \times 400,00 \times 7.445,00 \\ &= 4.169.200,0000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_t P_{nt} &= 0,90 \times 4.169.200,00 \\ &= 3.752.280,0000 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena nilai $P_{\max} \leq \phi_t P_{nt}$

$$325.019,3000 \leq 3.752.280,0000 \quad \text{Kontrol ok}$$

Kekuatan desain *braced* terhadap tekan ($\phi_c P_{nc}$) harus lebih besar dari P_{\max} . Kekuatan tekan nominal (P_{nc}) dihitung menggunakan persamaan (3.21), serta faktor tahanan terhadap tarik (ϕ_c) adalah 0,90 pada bagian

3.3.2.

$$\phi_c = 0,90$$

$$\begin{aligned} P_{nc} &= 1,14 A_g F_{cr} \\ &= 1,14 \times 7.445,00 \times 323,0908 \\ &= 2.742.168,6741 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_c P_{nc} &= 0,90 \times 2.742.168,6741 \\ &= 2.467.951,8067 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena nilai $P_{\max} \leq \phi_c P_{nc}$

$$325.019,3000 \leq 2.467.951,8067 \quad \text{Kontrol ok}$$

Lampiran 9. Penentuan Kolom

Perencanaan kolom untuk setiap lantai struktur EBF, menggunakan profil king cross produksi PT. Gunung Garuda, berikut data-data profil dari kolom.

Tabel Lampiran 2.a. Data profil kolom lantai 1 – 5 dan lantai 6 – 10

Data Profil	Satuan	Lantai 1 – 5 K-700X300	Lantai 6 – 10 K-588X300
d	mm	700,0000	588,0000
b _f	mm	300,0000	300,0000
w	N/mm	3,6255	2,9616
t _f	mm	24,0000	20,0000
t _w	mm	13,0000	12,0000
A _g	mm ²	47.100,0000	38.500,0000
r _x	mm	212,1000	181,6000
r _y	mm	216,5000	181,6000
Z _x	mm ³	6.051.400,0000	4.320.400,0000
Z _y	mm ³	6.193.300,0000	4.419.500,0000
A _f	mm ²	14.400,0000	12.000,0000
h	mm	652,0000	548,0000

Tabel Lampiran 2.b. Data profil kolom lantai 11 – 15 dan lantai 16 – 20

Data Profil	Satuan	Lantai 11 – 15 K-600X200	Lantai 16 – 20 K-500X200
d	mm	600,0000	500,0000
b _f	mm	200,0000	200,0000
w	N/mm	2,0790	1,7574
t _f	mm	17,0000	16,0000
t _w	mm	11,0000	10,0000
A _g	mm ²	26.880,0000	22.840,0000
r _x	mm	172,4000	147,9000
r _y	mm	172,4000	157,0000
Z _x	mm ³	2.662.700,0000	1.997.600,0000
Z _y	mm ³	2.724.400,0000	2.046.600,0000
A _f	mm ²	6.800,0000	6.400,0000
h	mm	566,0000	468,0000

Kontrol Penampang Kompak Elemen Kolom

Kontrol penampang kompak sesuai tabel 3.3 untuk menentukan rasio kelangsingan elemen profil (λ), batasan rasio kompak (λ_p), dan batasan rasio tidak kompak (λ_r).

Tabel Lampiran 3. Penentuan penampang kompak elemen sayap profil kolom

Lantai	Profil Kolom	λ_p	λ_r	λ	Keterangan
20 – 16	K-500X200	8,4971	22,3607	6,2500	Penampang kompak
15 – 11	K-600X200	8,4971	22,3607	5,8824	Penampang kompak
10 – 6	K-588X300	8,4971	22,3607	7,500	Penampang kompak
5 – 1	K-700X300	8,4971	22,3607	6,2500	Penampang kompak

Tabel Lampiran 4. Penentuan penampang kompak elemen badan profil kolom

Lantai	Profil Kolom	λ_p	λ_r	λ	Keterangan
20 – 16	K-500X200	8,0498	127,4559	46,8000	Tidak kompak
15 – 11	K-600X200	8,0498	127,4559	51,4545	Tidak kompak
10 – 6	K-588X300	8,0498	127,4559	45,6667	Tidak kompak
5 – 1	K-700X300	8,0498	127,4559	50,1538	Tidak kompak

Untuk penampang kompak $\lambda \leq \lambda_p$

Untuk penampang tidak kompak $\lambda \leq \lambda_r$

Dengan:

λ = rasio kelangsingan elemen profil

λ_p = batasan rasio penampang kompak

λ_r = batasan rasio penampang tidak kompak

Kontrol Panjang Efektif Kolom

Kontrol panjang kolom sesuai pada bagian 3.3.4, panjang maksimal kolom ($L_b \text{ max}$) \geq panjang kolom (L_b) sesuai pada bagian 3.3.4. Panjang maksimal kolom ($L_b \text{ max}$) dapat dihitung menggunakan persamaan (3.28).

Tabel Lampiran 5. Kontrol panjang efektif elemen kolom

Lantai	Profil Kolom	L_b , mm	L_b max, mm	Keterangan
20 – 16	K-500X200	3.500,0000	6.751,0000	Memenuhi syarat
15 – 11	K-600X200	3.500,0000	7.413,2000	Memenuhi syarat
10 – 6	K-588X300	3.500,0000	7.808,8000	Memenuhi syarat
5 – 1	K-700X300	4.000,0000	9.309,5000	Memenuhi syarat

Kontrol Tegangan Lentur Kolom

Kontrol tegangan lentur sesuai penentuan pada bagian 3.3.4 untuk rasio aksial ($P_u / \phi_c P_{nc}$) $\leq 1,00$. Batas kekuatan tekan (P_u) diambil nilai P kolom dari hasil analisis *software ETABS version 2016*.

Kekuatan tekan nominal (P_{nc}) dihitung menggunakan persamaan (3.29), serta faktor resistensi kolom aksia (ϕ_c) adalah 0,75 pada bagian 3.3.4. Untuk faktor panjang efektif (K) untuk kondisi ujung-ujung elemen adalah jepit-jepit berdasarkan tabel 3.2 dipaiak adalah 0,65.

$$\phi_c = 0,75$$

$$K_x = 0,65$$

$$K_y = 0,65$$

Kolom lantai 1 – 5, profil K-700X300

$$\lambda_x \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{K_x L_b}{r_x} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{0,65 \times 4.000,0000}{212,1000} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}}$$

$$12,2584 \leq 105,3188 \quad \text{Kontrol ok}$$

$$\lambda_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{K_y L_b}{r_y} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{0,65 \times 4.000,0000}{216,5000} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}}$$

$$12,0092 \leq 105,3188 \quad \text{Kontrol ok}$$

$$\lambda_{\max} = 12,2584$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 13.122,7221 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = 394,9292 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\phi_c P_{nc} &= \phi_c F_{cr} A_g \\ &= 0,75 \times 394,9292 \times 47.100,0000 \\ &= 13.950.874,0525 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Karena nilai } P_u/\phi_c P_{nc} &\leq 1,00 \\ 0,0636 &\leq 1,00 \quad \text{Kontrol ok}\end{aligned}$$

Kolom lantai 6 – 10, profil K-588X300

$$\begin{aligned}\lambda_x &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{K_x L_b}{r_x} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{0,65 \times 3.500,0000}{181,6000} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} \\ 12,5275 &\leq 105,3188 \quad \text{Kontrol ok}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_y &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{K_y L_b}{r_y} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{0,65 \times 3.500,0000}{181,6000} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}} \\ 12,5275 &\leq 105,3188 \quad \text{Kontrol ok}\end{aligned}$$

$$\lambda_{\max} = 12,5275$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 12.564,8752 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y = 394,7056 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \phi_c P_{nc} &= \phi_c F_{cr} A_g \\ &= 0,75 \times 394,7056 \times 38.500,0000 \\ &= 11.397.123,2829 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena nilai	$P_u / \phi_c P_{nc}$	\leq	1,00	
	0,0334	\leq	1,00	Kontrol ok

Kolom lantai 11 – 15, profil K-600X200

$$\lambda_x \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{K_x L_b}{r_x} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{0,65 \times 3.500,0000}{172,4000} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}}$$

$$13,1961 \leq 105,3188 \quad \text{Kontrol ok}$$

$$\lambda_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{K_y L_b}{r_y} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{0,65 \times 3.500,0000}{172,4000} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}}$$

$$13,1961 \leq 105,3188 \quad \text{Kontrol ok}$$

$$\lambda_{\max} = 13,1961$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 11.324,0300 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = 394,1297 \text{ MPa}$$

$$\phi_c P_{nc} = \phi_c F_{cr} A_g$$

$$= 0,75 \times 394,1297 \times 26.880,0000$$

$$= 7.945.654,7732 \text{ N}$$

$$\text{Karena nilai } P_u / \phi_c P_{nc} \leq 1,00$$

$$0,0284 \leq 1,00$$

Kontrol ok

Kolom lantai 16 – 20, profil K-500X200

$$\lambda_x \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{K_x L_b}{r_x} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{0,65 \times 3.500,0000}{147,9000} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}}$$

$$15,3820 \leq 105,3188 \quad \text{Kontrol ok}$$

$$\lambda_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{K_y L_b}{r_y} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{0,65 \times 3.500,0000}{157,0000} \leq 4,71 \sqrt{\frac{200.000,00}{400,00}}$$

$$14,4904 \leq 105,3188 \quad \text{Kontrol ok}$$

$$\lambda_{\max} = 15,3820$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 8.334,1793 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = 392,0448 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\phi_c P_{nc} &= \phi_c F_{cr} A_g \\ &= 0,75 \times 392,0448 \times 22.840,0000 \\ &= 6.715.727,7642 \text{ N}\end{aligned}$$

Karena nilai $P_u / \phi_c P_{nc} \leq 1,00$
 $0,1321 \leq 1,00$ Kontrol ok

