

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Pembebanan

#### 4.1.1 Beban mati

Sesuai dengan peraturan pembebanan Beton Bertulang Indonesia untuk Gedung Tahun 1983 (*PPIUG 1983*), beban mati diatur sebagai berikut:

- Bahan Bangunan :
  - Beton bertulang =  $2400 \text{ kg/m}^3$
- Komponen Gedung :
  - Spesi per cm tebal =  $21 \text{ kg/m}^3$
  - Keramik =  $24 \text{ kg/m}^3$
  - Dinding bara merah  $\frac{1}{2}$  batu =  $250 \text{ kg/m}^2$
  - Eternit + penggantung langit-langit =  $21 \text{ kg/m}^3$
  - Penutup atap Genteng =  $50 \text{ kg/m}^2$

#### 4.1.2 Beban hidup

Sesuai dengan peraturan pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983 (*PPIUG 1983*), beban hidup diatur sebagai berikut:

- Ruang kuliah dan kantor =  $250 \text{ kg/m}^3$
- Ruang pertemuan dan rapat =  $400 \text{ kg/m}^3$
- Ruang alat-alat mesin dan gedung =  $400 \text{ kg/m}^3$
- Tangga dan lorong kuliah =  $300 \text{ kg/m}^3$

### 4.2 Pembebanan Balok

#### 4.2.1 Pembebanan Pelat Atap (lantai 8)

##### 1. Beban hidup :

Lantai atap ( $q_L$ ) =  $100 \text{ kg/m}$

##### 2. Beban mati :

Berat beton bertulang ( $q_D$ ) =  $0,13 \text{ m} \times 2400 = 312 \text{ kg/m}^2$

Kombinasi Pembebanan ( $Q_u$ ) :

$$\begin{aligned}QU &= 1,2qD + 1,6 qL \\ &= 1,2(312) + 1,6(100) \\ &= 534,4 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

#### 4.2.2 Pembebanan Pelat Lantai (Tipikal lantai 2 - 7)

##### 1. Beban hidup :

$$\text{Lantai ruang kuliah dan kantor (qL)} = 250 \text{ kg/m}$$

##### 2. Beban mati :

$$\text{Berat beton bertulang (qd)} = 0,13 \text{ m} \times 2400 = 312 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasi Pembebanan (Qu) :

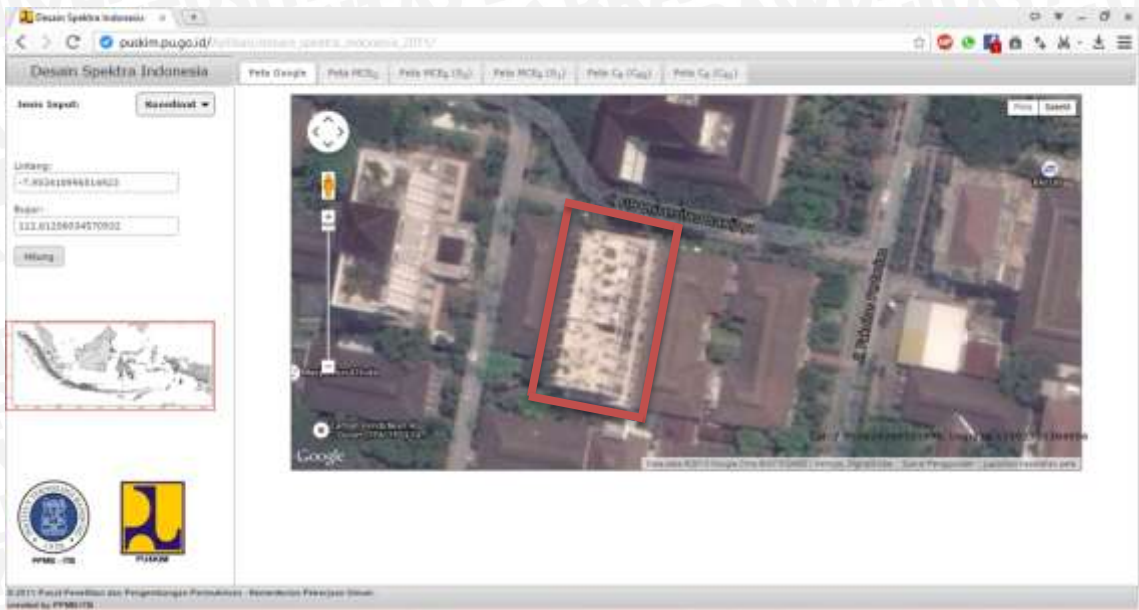
$$\begin{aligned}QU &= 1,2qD + 1,6 qL \\ &= 1,2(312) + 1,6(250) \\ &= 774,4 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

#### 4.2.3 Pembebanan atap baja

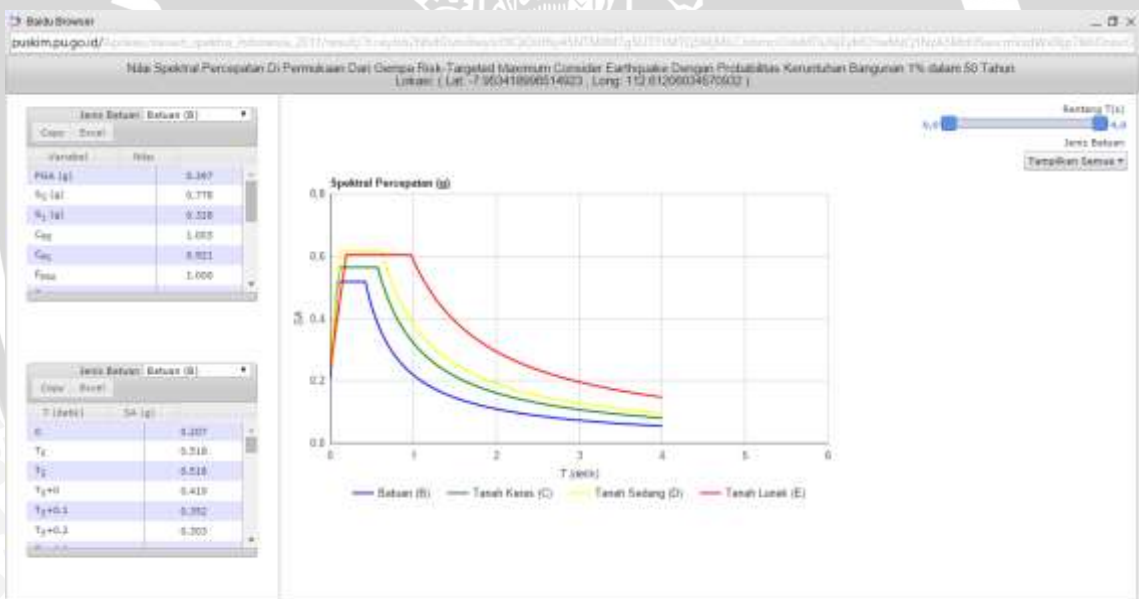
Desain atap Gedung MIPA Center Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya merupakan rangka baja. Pada perencanaan skripsi ini, baban atap yang akan diterima oleh portal digunakan nilai asumsi untuk tumpuan sendi rol yaitu 4000 kg.

#### 4.3 Analisis Beban Gempa

Pada perhitungan beban gempa pada gedung MIPA Center (Tahap I) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang, perhitungan spektrum repons desain menggunakan program yang telah disediakan PU: [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/). Dengan cara memasukkan jenis input kordinat tempat yang akan ditinjau.



Gambar 4.1 Lokasi gedung MIPA Center



Gambar 4.2 Respon spectral percepatan di permukaan

Maka akan diperoleh nilai Ss dan S1

$$S_s = 0,778 \quad S_1 = 0,328$$

Mencari nilai Fa



Tabel 4.1 Parameter respons spectral percepatan gempa ( $MCE_R$ )  $S_s$ 

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa ( $MCE_R$ ) Terpetakan pada Perioda Pendek, $T=0,2$ Detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS <sup>b</sup>				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier  
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Interpolasi

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

Interpolasi Linear

 $S_s =$ 

0,778

 $F_a = 1,089$ Mencari nilai  $F_v$ 

SC	X	0.75	1
	Y	1.1	1

Tabel 4.2 Parameter respons spectral percepatan gempa ( $MCE_R$ )  $S_1$ 

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa ( $MCE_R$ ) Terpetakan pada Periode 1 Detik, $S_1$				
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

## CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_1$  dapat dilakukan interpolasi linier  
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Interpolasi Linear	SC	X	0.3	0.4
$S_1 =$ 0,328		Y	1.5	1.4

$$F_v = 1,472$$

- a. Mencari parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek ( $S_{ms}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{m1}$ ), dengan asumsi nilai  $F_s$  dan  $F_v$  diambil dari kelas situs SC.

$$\begin{aligned} S_{ms} &= F_a \cdot S_s \\ &= 1,089 \cdot 0,778 = 0,847 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{ms} &= F_v \cdot S_1 \\ &= 1,472 \cdot 0,328 = 0,483 \end{aligned}$$

- b. Menghitung parameter percepatan spektrum desain untuk periode pendek,  $S_{ds}$  dan periode 1 detik ( $S_{d1}$ ).

$$S_{ds} = 2/3 \cdot S_{ms} = 2/3 \cdot 0,847 = 0,565$$

$$S_{d1} = 2/3 \cdot S_{m1} = 2/3 \cdot 0,483 = 0,322$$

- c. Menentukan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ )

Dalam SNI 1726-2012, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan,  $T_a$ , dalam detik, dari persamaan berikut, untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya gempa untuk Sistem Rangka Pemikul Momen secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m:

$$T_a = 0,1N = 0,1 \times 8 = 0,8$$

Keterangan: N = jumlah tingkat

d. Membuat spectrum respon desain

- 1) Untuk membuat periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , nilai  $S_a$  menggunakan persamaan berikut :

$$S_a = S_{ds} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) = 0,565 \left( 0,4 + 0,6 \frac{0,8}{0,114} \right) = 2,605$$

- 2) Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum repons percepatan desain  $S_a$  sama dengan  $S_{ds}$

- 3) Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  diambil menggunakan persamaan :

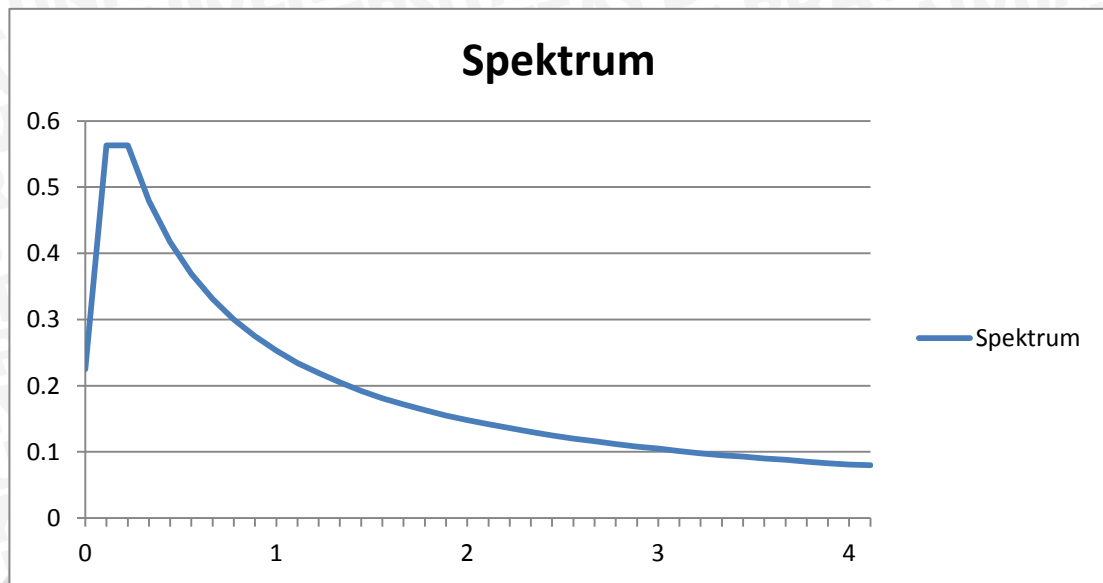
$$S_a = \frac{S_{d1}}{T} = \frac{0,322}{0,8} = 0,403$$

$$T_s = \frac{S_{d1}}{S_{ds}} = \frac{0,322}{0,565} = 0,570$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{d1}}{S_{ds}} = 0,2 \frac{0,322}{0,565} = 0,114$$



Spektrum respons desain



Gambar 4.3 Respon spectrum desain

e. Menentukan Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dievaluasi berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek dan 1 detik, yaitu dari nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ .

Tabel 4.3 Parameter respons percepatan pada perioda pendek

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

Tabel 4.4 Parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

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

$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Untuk nilai  $S_{DS} = 0,565$  dan  $S_{D1} = 0,322$  maka dari tabel di atas, didapatkan kategori desain seismic D. Dalam hal ini, system struktur yang dipakai untuk kategori desain seismic D adalah Rangka Baja dan Beton Komposit Pemikul Momen Khusus.

Tabel 4.5 Tingkat resiko kegempaan

Code/ Peraturan	Tingkat Resiko Kegempaan (SNI 2847-2013)		
	Rendah	Menengah	Tinggi
SNI 1726-2012	KDS	KDS	KDS
	A,B	C	D,E,F
	SRPMB/M/K	SRPMM/K	SRPMK
	SDSB/K	SDSB/K	SDSK

f. Menghitung koefisien respon seismic ( $C_s$ )

Koefisien respons seismic,  $C_s$  harus dengan persamaan :

$$C_{s(\text{hitung})} = \frac{S_{ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,565}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,106$$

Keterangan

$I_e$  : 1,5 (faktor keutamaan gempa untuk kategori resiko II)

$R$  : 8 (koefisien modifikasi respons untuk rangka pemikul momen khusus beton bertulang, SNI 1726-2012 Pasal 7.2.2)

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan diatas tidak boleh melebihi:

$$C_{s(\text{maks})} = \frac{S_1}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,328}{0,8 \left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,077$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung juga tidak kurang dari :

$$\begin{aligned} C_{s(\text{min})} &= 0,044 \cdot S_{ds} \cdot I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 \cdot 0,565 \cdot 1,5 \geq 0,01 \\ &= 0,0373 \geq 0,01 \end{aligned}$$



Jadi, nilai  $C_s$  yang diambil adalah nilai  $C_s$  maks karena :

$C_s$  hitungan  $\geq C_s(\text{maks})$

$0,106 \geq 0,077$ , maka  $C_s$  maks yang digunakan :  $0,077$

#### 4.4 Kombinasi Pembebanan

Struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor yang sesuai dengan ketentuan.

Kombinasi pembebanan pokok yang diperhitungkan adalah sebagai berikut:

- a. Bila kuat perlu  $U$  untuk menahan beban mati  $D$ , dan beban hidup  $L$ , dan juga beban atap  $L_r$  atau beban hujan  $R$ , paling tidak harus sama dengan:

$$U = 1.4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$$

- b. Bila ketahanan struktur terhadap beban angin  $W$ , maka harus dipertimbangkan dalam perencanaan. Pengaruh kombinasi  $D$ ,  $L$ , dan  $W$  yang akan dihitung menentukan nilai  $U$  yang terbesar, yaitu:

$$U = 1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L_r \text{ atau } 0,5 W)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } W)$$

$$U = 0,9 D + 1,0 W$$

- c. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa  $E$ , maka harus dipertimbangkan dalam perencanaan. Pengaruh kombinasi  $D$ ,  $L$ , dan  $E$  yang akan dihitung menentukan nilai  $U$  yang terbesar, yaitu:

$$U = 1,2 D + 1,0 E_1 + 1,0 L$$

$$U = 1,2 D + 1,0 E_2 + 1,0 L$$

$$U = 0,9 D + 1,0 E_1$$

$$U = 0,9 D + 1,0 E_2$$

Keterangan :

$E_1$  : gempa arah utara – selatan dan barat – timur

$E_2$  : gempa arah selatan – utara dan timur – barat

Faktor beban untuk  $L$  boleh direduksi menjadi  $0,5 L$  kecuali untuk ruangan garasi, ruangan pertemuan, dan semua ruangan dengan beban hidup  $L$ -nya lebih besar dari pada  $500 \text{ kg/m}$ .

#### 4.5 Input Data STAAD Pro 2008 v8i

Input data merupakan sekumpulan perintah dan data yang akan digunakan dalam memodelkan dan menganalisis model struktur. Berikut penjelasan singkatnya:

a. *Geometry*

Memuat informasi tentang letak koordinat titik-titik pada struktur dalam sumbu  $x$ ,  $y$  dan  $z$ .

b. *General* → *Property*

Memuat informasi tentang data-data dari elemen struktur batang tiga dimensi pada struktur yang dianalisis melalui *property*, dan momen inersia dari setiap elemen.

c. *General* → *Load*

Memuat informasi tentang data-data dari elemen batang tiga dimensi pada struktur yang dianalisis meliputi beban yang bekerja pada elemen. Beban yang bekerja dari analisis struktur yang dilakukan antara lain sebagai berikut:

Beban mati	: <i>Selfweight Y -1</i>
Beban hidup	: <i>Floor with Y range</i>
Beban gempa	: Beban lateral
Beban atap	: <i>Joint load</i> Beban atap
Beban angin	: <i>Wind definition</i>

d. *General* → *Load Combination*

Memuat informasi mengenai kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisis struktur utama.

e. *General* → *Support*

Memuat informasi mengenai perletakan tumpuan pada struktur yang akan dianalisis.

f. *Analyze* → *Run Analyze*

Memuat informasi untuk mendapatkan hasil dari data input yang telah dimasukkan.

#### 4.6 Perencanaan Struktur sekunder

Perencanaan struktur sekunder meliputi struktur balok anak.

Balok anak berfungsi untuk membagi luasan lantai agar tidak terlalu lebar sehingga kekakuannya lebih baik. Balok anak menumpu diatas dua tumpuan sederhana.

##### 4.6.1. Data Perencanaan Balok Anak Menggunakan Profil *Castellated Beam*:

Profil WF 250 x 250 x 9 x 14 mm

Mutu baja BJ.41 ,

$$f_y = 250 \text{ Mpa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$W = 72,36 \text{ kg/m}$$

$$r = 16 \text{ mm}$$

$$b_f = 250 \text{ mm}$$

$$d = 250 \text{ mm}$$

$$h = d - 2(tf + r) = 190 \text{ mm}$$

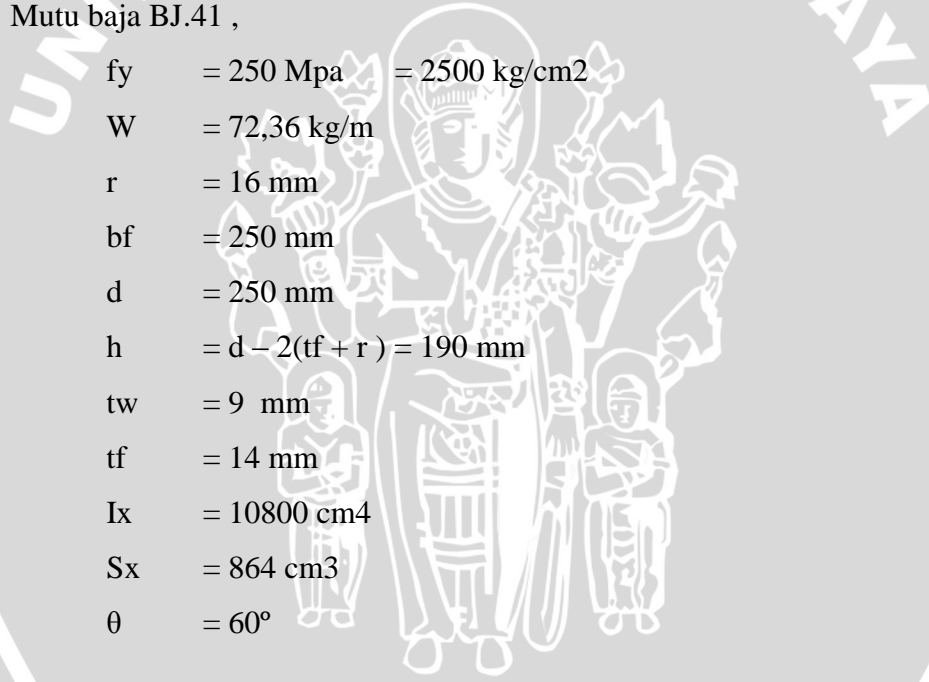
$$t_w = 9 \text{ mm}$$

$$t_f = 14 \text{ mm}$$

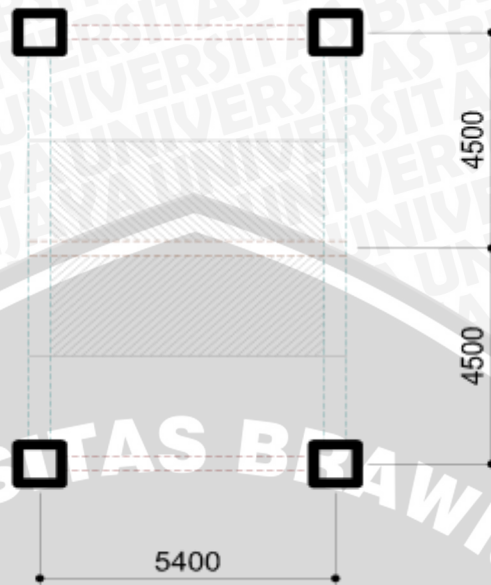
$$I_x = 10800 \text{ cm}^4$$

$$S_x = 864 \text{ cm}^3$$

$$\theta = 60^\circ$$







Gambar 4.4 Pembebanan Balok lantai

#### 4.6.2 Kontrol Penampang

Cek kelangsingan penampang profil WF

- Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{250}{2 \cdot 14} = 8,93$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10,75$$

$\lambda < \lambda_p \rightarrow$  Penampang Kompak (OK)

- Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{190}{9} = 21,11$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106,25$$

$\lambda < \lambda_p \rightarrow$  Penampang Kompak (OK)

Selanjutnya untuk profil lainnya digunakan cara yang sama untuk memperoleh hasil kelangsingan profil balok.

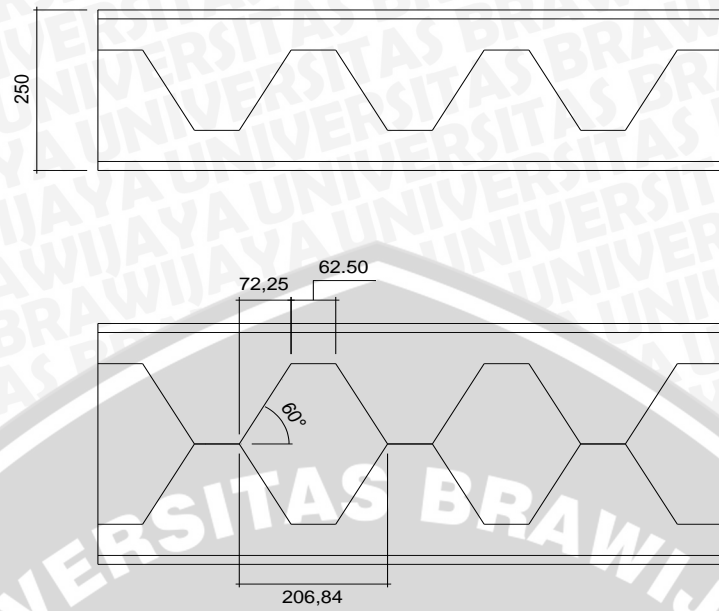
Tabel 4.6 Rekapitulasi kelangsingan profil balok

Balok Anak	Profil WF sebelum	L (cm)	$\frac{bf}{2tf}$	$\frac{170}{\sqrt{fy}}$	$\frac{h}{tw}$	$\frac{1680}{\sqrt{fy}}$	Penampang
	menjadi Castellated Beam (mm)						
B1a	WF 250 x 250 x 9 x 14	5400	8,93	10,75	29,45	106,25	Kompak
B2a	WF 250 x 250 x 9 x 14	5400	8,93	10,75	29,45	106,25	Kompak
B3a	WF 300 x 300 x 10 x 15	5600	10,0	10,75	23,40	106,25	Kompak

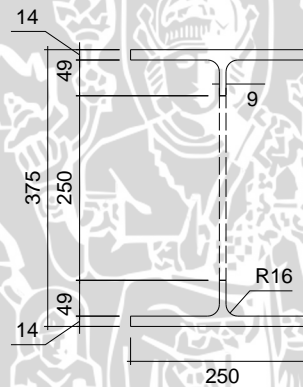
#### 4.6.3 Perhitungan Dimensi Profil Castellated *(Berdasarkan Jurnal Opened Web Expanded Beams and Girder)*

Asumsi,  $K1 = 1,5$

$$\begin{aligned}
 h &= d(K1 - 1) \\
 &= 250(1,5 - 1) = 125 \text{ mm} \\
 d_g &= d + h = 250 + 125 = 375 \text{ mm} \\
 b &= \frac{h}{\tan \theta} = \frac{125}{1,73} = 72,25 \approx 72 \text{ mm} \\
 d_T &= \frac{d_g - 2tf}{2} - h = \frac{375 - 2 \cdot 9}{2} - 125 = 48,5 \text{ mm} \\
 h_o &= 2h = 250 \text{ mm} \\
 e &= 0,25 \times h_o = 62,5 \text{ mm} \\
 a_o &= 2b + e = 206,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.5 Potongan Memanjang Castellated Beam



Gambar 4.6 Potongan Melintang Castellated Beam

Maka, profil *wide flange* menjadi profil *Castellated* dengan data-data sebagai berikut :

- $d_g$  = 375 mm
- $bf$  = 250 mm
- $r$  = 16 mm
- $h_o$  = 250 mm
- $ao$  = 206,5 mm
- $t_w$  = 9 mm
- $t_f$  = 14 mm
- $h$  =  $d_g - 2(t_f + r) = 315$  mm



#### 4.6.4 Mencari $I_x$ dan $Z_x$ pada profil castelled

- Pada bagian tanpa lubang

$$\begin{aligned} I_x &= \left( \frac{1}{12} \times b \times dg^3 \right) - \left( 2 \times \frac{1}{12} \times \left( \frac{b-tw}{2} \right) (dg - 2tf)^3 \right) \\ &= 1098632813 - 839120287 \\ &= 259512526 \text{ mm}^4 \\ &= 25951,25256 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_x &= \left( \frac{tw \times dg^2}{4} \right) + (bf - tw)(dg - tf) \times tf \\ &= 316406,25 + 2118014 \\ &= 1534420,25 \text{ mm}^3 \\ &= 1534,42025 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

- Pada bagian berlubang

$$\begin{aligned} I_x &= \left( \frac{1}{12} \times b \times dg^3 \right) - \left( 2 \times \frac{1}{12} \times \left( \frac{b-tw}{2} \right) (dg - 2tf)^3 \right) - \left( \frac{1}{12} \times tw \times \right. \\ &\quad \left. (dg - 2tf - 2h)^3 \right) \\ &= 1098632813 - 839120287 - 16998890,25 \\ &= 242513635 \text{ mm}^4 \\ &= 24251,3635 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_x &= \left( \frac{1}{4} \times b \times dg^2 \right) - \left( 2 \times \frac{1}{4} \times \left( \frac{b-tw}{2} \right) (dg - 2tf)^2 \right) - \left( \frac{1}{4} \times tw \times ho^2 \right) \\ &= 1393795,25 \text{ mm}^3 \\ &= 1393,79525 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$I_x = I_x \text{ rata - rata}$$

$$I_x = \frac{I_x \text{ tanpa lubang} + I_x \text{ berlubang}}{2}$$

$$I_x = \frac{25951,25256 + 24251,3635}{2} = 25101,308 \text{ cm}^4$$

#### 4.6.5 Pembebanan

##### 1. Beban mati :

$$\begin{aligned} \text{Berat profil} &= 21,32 \text{ kg/m} \\ \text{Berat pelat lantai} &= 4,5 \times 312 = 1404 \text{ kg/m} + \\ \text{qD} &= 1425,32 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

##### 2. Beban hidup :

$$\begin{aligned} \text{Lantai ruang kuliah dan kantor} &= 250 \text{ kg/m}^2 \\ \text{qL} &= 4,5 \times 250 = 1000 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

##### Kombinasi Beban :

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2qD + 1,6qL \\ &= (1,2 \times 1404) + (1,6 \times 1000) \\ &= 3284,8 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} \times q_u \times L^2 = \frac{1}{8} \times 3284,8 \times (5,40)^2 \\ &= 11973,096 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} \times q_u \times L = \frac{1}{2} \times 3284,8 \times 5,40 \\ &= 8868,96 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{250}{2 \cdot 14} = 8,93$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10,75$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang Kompak (OK)}$$

- Pelat Badan (ketika solid)

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{315}{9} = 35$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106,25$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang Kompak (OK)}$$

Dari kombinasi pembebanan didapat,

$$M_u = 11973,096 \text{ kgcm} = 1197309 \text{ kgcm}$$

Karena penampang kompak, maka :

$$M_n = M_p$$

$$M_n = F_y \times Z_x$$

$$= 2500 \times 1534,42025$$

$$= 3836050 \text{ kgcm}$$

$$\Delta A_s = h_o \times t_w$$

$$= 25 \times 0,9$$

$$= 22,5 \text{ cm}^2$$

Momen Lentur Nominal (berdasarkan ASCE journal page 3327)

$$M_n = M_p - f_y \times \Delta A_s \left( \frac{h_o}{4} + e \right)$$

$$= 3836050 - 56250 (12,5)$$

$$= 3132925 \text{ kgcm}$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times 3132925$$

$$= 2819632,5 \text{ kgcm}$$

$$\Phi M_n \geq M_u$$

$$2819632,5 \text{ kgcm} \geq 1197309 \text{ kgcm (OK)}$$

- Pelat Badan (ketika berlubang)

$$\lambda = \frac{d_T}{t_w} = \frac{48,5}{9} = 5,38$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10,75$$

$$\lambda_R = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_R}} = \frac{170}{\sqrt{250 - 70}} = 27,57$$

Didapat,  $\lambda < \lambda_p < \lambda_R \rightarrow$  Penampang Kompak (OK)

Karena penampang kompak, maka :

$$M_n = F_y \times Z_x$$

$$= 2500 \times 1393,79525$$



$$= 3484488,125 \text{ kgcm}$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times 3484488,125$$

$$= 3136039,31 \text{ kgcm}$$

$$\Phi M_n \geq M_u$$

$$3136039,31 \text{ kgcm} \geq 1197309 \text{ kgcm (OK)}$$

Kontrol Kuat Geser :

- $\frac{d-2tf}{tw} = \frac{375}{9} = 38,55$
- $\frac{1365}{\sqrt{f_y}} = \frac{1365}{\sqrt{250}} = 86,33$
- $\frac{1100}{\sqrt{f_y}} = \frac{1100}{\sqrt{250}} = 69,57$

Kontrol Tekuk Badan (berdasarkan ASCE journal page 3319)

- $\frac{d-2tf}{tw} \leq \frac{1365}{\sqrt{f_y}}$   
 $38,55 \leq 86,33... \text{ (OK)}$

- $\frac{d-2tf}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}}$   
 $38,55 \leq 69,57... \text{ (OK)}$

$$a_o = 206,50 \text{ mm}$$

$$h_o = 250 \text{ mm}$$

$$\frac{a_o}{h_o} = \frac{206,5}{250} = 0,826 \leq 3,0 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} V_p &= f_y \times tw \times \frac{d}{\sqrt{3}} \\ &= 2500 \times 0,9 \times 21,6 \\ &= 48713,92 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_o &= \frac{a_o}{h_o} + \frac{6h_o}{d} \\ &= \frac{206,5}{250} + \frac{1500}{375} \\ &= 4,826 \leq 5,6 \text{ (OK) ( nilai 5,6 adalah untuk balok baja non } \\ &\quad \text{komposit )} \end{aligned}$$

Untuk tee atas dan bawah :

$$V_{pt} = \frac{f_y \times t_w \times d_t}{\sqrt{3}} = \frac{2500 \times 0,9 \times 4,85}{\sqrt{3}}$$

$$= 109125 \text{ kg}$$

$$\mu = 0$$

$$v = \frac{a_o}{d_t} = \frac{206,5}{48,5} = 4,25$$

$$\frac{\sqrt{6} + \mu}{v + \sqrt{3}} = 0,409 \leq 1,0 \text{ (OK)}$$

$$V_{nt} = \frac{\sqrt{6} + \mu}{v + \sqrt{3}} V_{pt}$$

$$= 0,409 \times 109125$$

$$= 44683,76 \text{ kg}$$

$$V_{nt} \leq V_{pt} \rightarrow 44683,76 \text{ kg} \leq 109125 \text{ kg} \dots \text{ (OK)}$$

$$V_n = \Sigma V_{nt} = 2 \times V_{nt} = 89367,535 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = \Sigma V_{nt} = 0,9 \times V_n = 0,9 \times 89367,535$$

$$= 80430,78 \text{ kg}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$80430,78 \text{ kg} \geq 8868,96 \text{ kg} \dots \text{ (OK)}$$

#### 4.6.6 Persamaan Interaksi :

$$\left(\frac{M_u}{M_n}\right)^3 + \left(\frac{V_u}{V_n}\right)^3 \leq 1,0$$

$$= \left(\frac{1197309}{3136039,31}\right)^3 + \left(\frac{8868,96}{80430,78}\right)^3 \leq 1,0$$

$$= 0,05 \leq 1,0 \dots \text{ (OK)}$$

#### 4.6.7 Kontrol Jarak Antar Lubang :

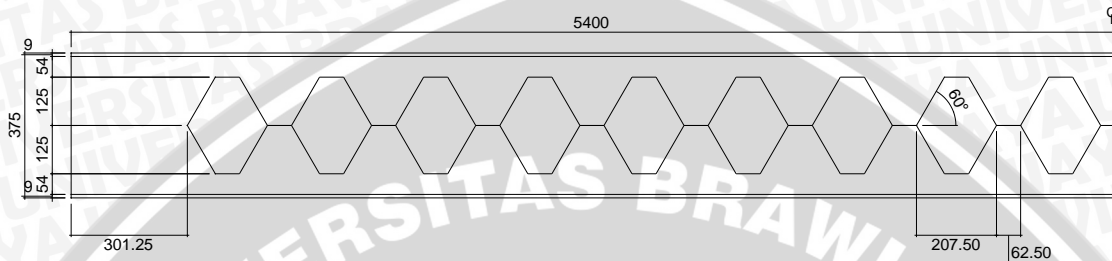
$$S = 2(b + e) = 2(72 + 62,5) = 275 \text{ mm}$$

$$S \geq h_o = 275 \text{ mm} \geq 250 \text{ mm} \dots \text{ (OK)}$$

$$S \geq a_o \left( \frac{vu}{1 - \frac{\phi v_p}{\phi v_p}} \right)$$

$$\geq 20,65 \left( \frac{0,110}{1 - 0,110} \right)$$

$$27,5 \text{ cm} \geq 2,55 \text{ cm} \dots (\text{OK})$$



Gambar 4.7 detail ½ bentang profil *castellated beam* pada balok anak.

#### 4.6.8 Kontrol Lentutan

$$\hat{f} = \frac{L}{360} = \frac{540}{360} = 1,5 \text{ cm}$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{qd + ql \times L^4}{E \times I_{x \text{ rata-rata}}}$$

$$= \frac{5}{384} \times \frac{(1,42532 + 1,0) \times 540^4}{(2 \times 10^6) \times 25101,308}$$

$$= 0,053 \text{ cm} \leq \hat{f} = 1,5 \text{ cm} \dots (\text{OK})$$

Jadi, Profil Balok Anak dipakai :

Castellated Beam 375 x 250 x 9 x 14

Dengan perhitungan yang sama, maka didapat tabel balok anak sebagai berikut :

Tabel 4.7 Perhitungan dimensi balok anak.

Lantai	Balok Anak	Mu (kgcm)	Vu (kg)	Profil WF sebelum	Profil Castellated
				menjadi Castellated Beam	
	B1a	1197309	8868,96	250 250 x 9 x 14	375 250 x 9 x 14



Lantai 2-8	B2a	1197309	8868,96	250 250 x 9 x 14	375 250 x 9 x 14
	B3a	1197309	8868,96	300 x 300 x 10 x 15	450 x 300 x 10 x 15

#### 4.7 Perencanaan Struktur Primer

Perencanaan struktur sekunder meliputi struktur balok Induk dan Kolom Induk.

##### 4.7.1 Perencanaan Balok

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan program aplikasi analisis struktur, maka diperoleh gaya-gaya dalam. Pada perencanaan balok ini, digunakan momen dan gaya lintang. Selanjutnya dilakukan analisis pada balok berdasarkan SNI 03-1729-2002. Contoh perhitungan dilakukan pada balok B1 yang menggunakan profil WF 18 x 192 pada lantai 1.

Hasil output STAAD Pro V8 akibat beban kombinasi, didapat :

$$\begin{aligned} M_{max} &= 140120,620 \text{ Kgm} \\ &= 14012062 \text{ Kgcm} \end{aligned}$$

$$V_u = \text{Kg}$$

$$L = 9 \text{ m}$$

Profil WF 18 x 192 (AISC)

Mutu baja ,  $f_y = 250 \text{ Mpa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$

$$d = 518,16 \text{ mm}$$

$$b_f = 292,1 \text{ mm}$$

$$t_w = 24,384 \text{ mm}$$

$$t_f = 44,45 \text{ mm}$$

$$I_x = 161069,4 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 7244,38 \text{ cm}^3$$

$$S_x = 6228,2 \text{ cm}^3$$

$$\theta = 60^\circ$$

$$r = 13,81125 \text{ mm}$$

$$h = d - 2(t_f + r) = 401,6375 \text{ mm}$$

#### 4.7.2 Kontrol Penampang

Cek kelangsingan penampang profil WF

- Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{292,10}{2 \cdot 44,45} = 3,27$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10,75$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang Kompak (OK)}$$

- Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{401,6375}{24,384} = 16,7$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106,25$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang Kompak (OK)}$$

Selanjutnya untuk profil lainnya digunakan cara yang sama untuk memperoleh hasil kelangsingan profil balok.

Tabel 4.8 Rekapitulasi kelangsingan profil balok

Balok Induk	Profil WF sebelum menjadi Castellated Beam (mm)	L (m)	$\frac{bf}{2tf}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{h}{tw}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	Penampang
B1	WF 18 x 192	9	8,30	10,75	42,42	106,25	Kompak
B2	WF 12 x 136	5,4	4,96	10,75	12,3	106,25	Kompak

#### 4.7.3 Perhitungan Dimensi Profil Castellated ( Berdasarkan Jurnal *Opened Web Expanded Beams and Girder* )

Asumsi,  $K_1 = 1,5$

$$\begin{aligned} h &= d (K_1 - 1) \\ &= 518,16 ( 1,5 - 1 ) = 259,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d_g = d + h = 518,16 + 259,08 = 777,24 \text{ mm}$$

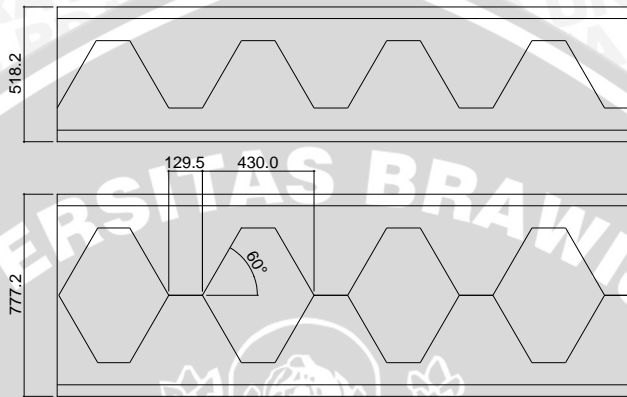
$$b = \frac{h}{\tan \theta} = \frac{259,08}{1,73} = 149,58 \text{ mm}$$

$$d_T = \frac{d_g - 2t_f}{2} - h = \frac{777,74 - 2 \cdot 44,45}{2} - 259,08 = 85,09 \text{ mm}$$

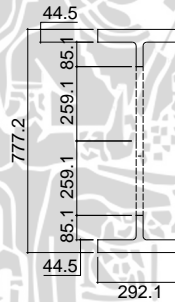
$$h_o = 2h = 518,16 \text{ mm}$$

$$e = 0,25 \times h_o = 129,54 \text{ mm}$$

$$a_o = 2b + e = 428,70 \text{ mm}$$



Gambar 4.8 Potongan Memanjang Castellated Beam



Gambar 4.9 Potongan Melintang Castellated Beam

Maka, profil *wide flange* menjadi profil *Castellated* dengan data-data sebagai berikut :

$$d_g = 777,74 \text{ mm}$$

$$b_f = 292,1 \text{ mm}$$

$$r = 13,81125 \text{ mm}$$

$$h_o = 518,16 \text{ mm}$$

$$a_o = 428,70 \text{ mm}$$

$$t_w = 24,384 \text{ mm}$$

$$t_f = 44,45 \text{ mm}$$

$$h = d_g - 2(t_f + r) = 660,72 \text{ mm}$$



#### 4.7.4 Mencari $I_x$ dan $Z_x$ pada profil castellated

- Pada bagian tanpa lubang

$$\begin{aligned} I_x &= \left( \frac{1}{12} \times b \times dg^3 \right) - \left( 2 \times \frac{1}{12} \times \left( \frac{b-tw}{2} \right) \right) (dg - 2tf)^3 \\ &= 11429197571 - 7276157712 \\ &= 4153039859 \text{ mm}^4 \\ &= 415303,9859 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_x &= \left( \frac{tw \times dg^2}{4} \right) + (bf - tw)(dg - tf) \times tf \\ &= 3682605,899 + 8720183,56 \\ &= 12402789,46 \text{ mm}^3 \\ &= 12402,78946 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

- Pada bagian berlubang

$$\begin{aligned} I_x &= \left( \frac{1}{12} \times b \times dg^3 \right) - \left( 2 \times \frac{1}{12} \times \left( \frac{b-tw}{2} \right) \right) (dg - 2tf)^3 - \left( \frac{1}{12} \times tw \times \right. \\ &\quad \left. (dg - 2tf - 2h)^3 \right) \\ &= 11429197571 - 7276157712 - 4153039859 \\ &= 3637419147 \text{ mm}^4 \\ &= 363741,9147 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_x &= \left( \frac{1}{4} \times b \times dg^2 \right) - \left( 2 \times \frac{1}{4} \times \left( \frac{b-tw}{2} \right) \right) (dg - 2tf)^2 - \left( \frac{1}{4} \times tw \times ho^2 \right) \\ &= 6123837,812 \text{ mm}^3 \\ &= 6123,837812 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$I_x = I_x \text{ rata - rata}$$

$$I_x = \frac{I_x \text{ tanpa lubang} + I_x \text{ berlubang}}{2}$$

$$I_x = \frac{415303,9859 + 363741,9147}{2} = 389522,9503 \text{ cm}^4$$

#### 4.7.5 Kontrol Penampang

a. Cek kelangsingan penampang profil WF

- Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{292,10}{2 \cdot 44,45} = 8,30$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10,75$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang Kompak (OK)}$$

- Pelat Badan (ketika solid)

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{660,72}{24,384} = 27,096$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106,25$$

$$\lambda < \lambda_p \rightarrow \text{Penampang Kompak (OK)}$$

Dari kombinasi pembebanan didapat,

$$M_u = 110519,80 \text{ kgm} = 11051980 \text{ kgcm}$$

Karena penampang kompak, maka :

$$M_n = M_p$$

$$\begin{aligned} M_n &= F_y \times Z_x \\ &= 2500 \times 12402,78946 \\ &= 31006973,65 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta A_s &= h_o \times t_w \\ &= 51,816 \times 2,4384 \\ &= 126,348 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Momen Lentur Nominal (berdasarkan ASCE journal page 3327)

$$\begin{aligned} M_n &= M_p - f_y \times \Delta A_s \left( \frac{h_o}{4} + e \right) \\ &= 31006973,65 - 315870 (25,908) \\ &= 22823413,69 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi M_n &= 0,9 \times 22823413,69 \\ &= 20541072,32 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\Phi M_n \geq M_u$$

$$20541072,32 \text{ kgcm} \geq 11051980 \text{ kgcm (OK)}$$

- Pelat Badan (ketika berlubang)

$$\lambda = \frac{dT}{tw} = \frac{85,09}{24,384} = 3,48$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10,75$$

$$\lambda_R = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_R}} = \frac{170}{\sqrt{250 - 70}} = 27,57$$

Didapat,  $\lambda < \lambda_p < \lambda_R \rightarrow$  Penampang Kompak (OK)

Kontrol Kuat Geser :

- $\frac{d-2tf}{tw} = \frac{688,84}{24,384} = 28,24$

- $\frac{1365}{\sqrt{f_y}} = \frac{1365}{\sqrt{250}} = 86,33$

- $\frac{1100}{\sqrt{f_y}} = \frac{1100}{\sqrt{250}} = 69,57$

Kontrol Tekuk Badan (berdasarkan ASCE journal page 3319)

- $\frac{d-2tf}{tw} \leq \frac{1365}{\sqrt{f_y}}$

$$28,24 \leq 86,33 \dots \text{(OK)}$$

- $\frac{d-2tf}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}}$

$$28,24 \leq 69,57 \dots \text{(OK)}$$

$$a_o = 428,70 \text{ mm}$$

$$h_o = 518,16 \text{ mm}$$

$$\frac{a_o}{h_o} = \frac{428,70}{518,16} = 0,827 \leq 3,0 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} V_p &= f_y \times tw \times \frac{d}{\sqrt{3}} \\ &= 2500 \times 2,4384 \times 44,90 \\ &= 273727,711 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_o = \frac{a_o}{h_o} + \frac{6h_o}{d}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{428,70}{518,16} + \frac{3108,96}{777,74} \\
 &= 4,827 \leq 5,6 \text{ (OK) ( nilai 5,6 adalah untuk balok baja non } \\
 &\quad \text{komposit) }
 \end{aligned}$$

Untuk tee atas dan bawah :

$$\begin{aligned}
 V_{pt} &= \frac{f_y \times t_w \times d_t}{\sqrt{3}} = \frac{2500 \times 2,4384 \times 85,09}{\sqrt{3}} \\
 &= 299476,57 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\mu = 0$$

$$v = \frac{a_o}{d_t} = \frac{428,70}{85,09} = 5,038$$

$$\frac{\sqrt{6} + \mu}{v + \sqrt{3}} = 0,36 \leq 1,0 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}
 V_{nt} &= \frac{\sqrt{6} + \mu}{v + \sqrt{3}} V_{pt} \\
 &= 0,36 \times 299476,57 \\
 &= 108354,399 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$V_{nt} \leq V_{pt} \rightarrow 108354,399 \text{ kg} \leq 299476,57 \text{ kg} \dots \text{ (OK)}$$

$$V_n = \Sigma V_{nt} = 2 \times V_{nt} = 216708,798 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \Sigma V_{nt} = 0,9 \times V_n = 0,9 \times 216708,798 \\
 &= 195037,9182 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &\geq V_u \\
 195037,9182 \text{ kg} &\geq 37056,78 \text{ kg} \dots \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

#### 4.7.6 Persamaan Interaksi :

$$\begin{aligned}
 &\left(\frac{M_u}{M_n}\right)^3 + \left(\frac{V_u}{V_n}\right)^3 \leq 1,0 \\
 &= \left(\frac{11051980}{20541072,32}\right)^3 + \left(\frac{37056,78}{195037,9182}\right)^3 \leq 1,0 \\
 &= 0,16 \leq 1,0 \dots \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

#### 4.7.7 Kontrol Jarak Antar Lubang :

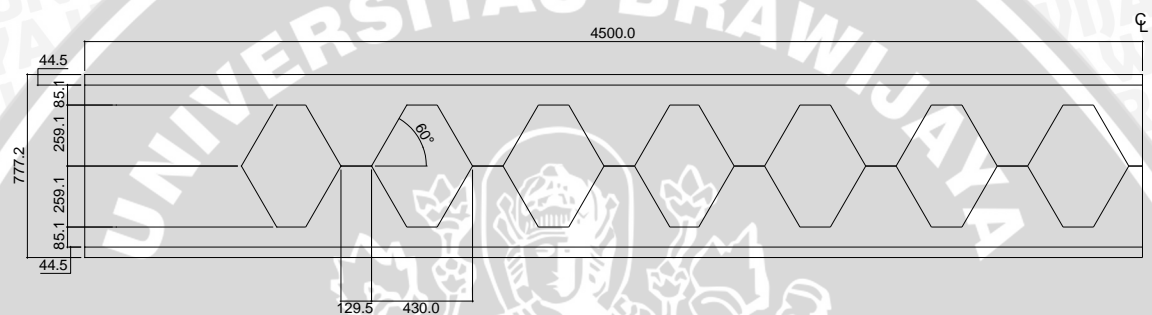
$$S = 2(b + e) = 2(149,58 + 129,54) = 558,24 \text{ mm}$$

$$S \geq h_o = 558,24 \text{ mm} \geq 518,16 \text{ mm} \dots (\text{OK})$$

$$S \geq a_o \left( \frac{\frac{vu}{\phi v_p}}{1 - \frac{vu}{\phi v_p}} \right)$$

$$\geq 42,870 \left( \frac{0,189}{1 - 0,189} \right)$$

$$55,824 \text{ cm} \geq 9,99 \text{ cm} \dots (\text{OK})$$



Gambar 4.10 detail ½ bentang profil *castellated beam* pada balok Melintang.

#### 4.7.8 Kontrol Lendutan

Menurut Tabel 6.4-1 SNI 03-1729-2002, batas lendutan untuk balok pemikul dinding atau finishing yang getas adalah  $L/360$ , dengan  $L$  adalah bentang balok.

Balok WF 18 x 192

$$\hat{f} = \frac{L}{360} = \frac{900}{360} = 2,5 \text{ cm}$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{qd + ql \times L^4}{E \times I_x \text{ rata-rata}}$$

$$= \frac{5}{384} \times \frac{(1,5389 + 1,0) \times 900^4}{(2 \times 10^6) \times 389522,9503}$$

$$= 0,278 \text{ cm} \leq \hat{f} = 2,5 \text{ cm} \dots (\text{OK})$$

Dengan cara yang sama, diperoleh lendutan balok pada bentang lain seperti dalam Tabel berikut:

Tabel 4.9 Rekapitulasi lendutan balok

Balok	$\Delta_{maks}$ $f = \frac{5}{384} \times \frac{qd + ql \times L^4}{E \times I_x rata-rata}$ (mm)	$\Delta_{ijin}$ L/360 (mm)	Kontrol
Bentang 9 m	2,78	25	Ok
Bentang 5,4 m	8,64	15	Ok

Jadi, Profil Balok Induk dipakai :

Castellated Beam 777,74 x 292,1 x 24,384 x 44,45

Dengan perhitungan yang sama, maka didapat tabel balok induk sebagai berikut :

Tabel 4.10. Perhitungan dimensi balok induk.

Lantai	Balok	L	Mu	Vu	Profil WF	Profil Castellated
		(m)	(kgcm)	(kg)	(in)	(mm)
2	B1	9	11051980	37056,78	18 x 192	777,74 x 292,1 x 24,384 x 44,45
	B2	5,4	98084,314	32774,62	12 x 136	510,5 x 314,96 x 20,006 x 31,75
3	B1	9	11051980	37056,78	18 x 192	777,74 x 292,1 x 24,384 x 44,45
	B2	5,4	98084,314	32774,62	12 x 136	510,5 x 314,96 x 20,006 x 31,75
4	B1	9	11051980	37056,78	18 x 192	777,74 x 292,1 x 24,384 x 44,45
	B2	5,4	98084,314	32774,62	12 x 136	510,5 x 314,96 x 20,006 x 31,75
5	B1	9	11051980	37056,78	18 x 192	777,74 x 292,1 x 24,384 x 44,45
	B2	5,4	98084,314	32774,62	12 x 136	510,5 x 314,96 x 20,006 x 31,75
6	B1	9	11051980	37056,78	18 x 192	777,74 x 292,1 x 24,384 x 44,45
	B2	5,4	98084,314	32774,62	12 x 136	510,5 x 314,96 x 20,006 x 31,75
7	B1	9	11051980	37056,78	18 x 192	777,74 x 292,1 x 24,384 x 44,45
	B2	5,4	98084,314	32774,62	12 x 136	510,5 x 314,96 x 20,006 x 31,75
8	B1	9	11051980	37056,78	18 x 192	777,74 x 292,1 x 24,384 x 44,45



B2	5,4	98084,314	32774,62	12 x 136	510,5 x 314,96 x 20,006 x 31,75
----	-----	-----------	----------	----------	---------------------------------

#### 4.8 Perencanaan Kolom

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan program aplikasi analisis struktur, maka diperoleh gaya-gaya dalam. Pada perencanaan kolom ini, digunakan momen dan gaya normal. Selanjutnya dilakukan analisis pada kolom berdasarkan SNI 03-1729-2002. Contoh perhitungan dilakukan pada kolom E-4 (K1) lantai 1 yang menggunakan profil WF 33x318.

$$B_f = 406,4 \text{ mm}$$

$$t_f = 48,006 \text{ mm}$$

$$t_w = 26,416 \text{ mm}$$

$$r_y = 94,234 \text{ mm}$$

$$f_y = 253,1 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 400 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

$$G = 80000 \text{ Mpa}$$

$$r_x = 368,3 \text{ mm}$$

$$d = 894,08 \text{ mm}$$

$$h = 758,1392 \text{ mm}$$

$$A_s = 60386,976 \text{ mm}^2$$

$$Z_x = 20811571,28 \text{ mm}^3$$

$$S_x = 18189641,04 \text{ mm}^3$$

$$I_x = 8116512799 \text{ mm}^4$$



$$I_y = 536938539 \text{ mm}^4$$

$$s_x = 18189641,04 \text{ mm}^3$$

$$C_w = 9,58673E+13 \text{ mm}^6$$

$$J = 35129932,32 \text{ mm}^4$$

#### 4.8.1 Kontrol Penampang

$$N_{u \max} = 255658,120 \text{ kg}$$

Cek kelangsingan penampang pada profil WF

- Pelat Sayap

$$\frac{b/2}{t_f} = \frac{406,4 / 2}{48,006} = 4,23$$

$$\frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{253,1}} = 15,714$$

$$\frac{b/2}{t_f} < \lambda_r \dots (\text{OK})$$

- Pelat badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{758,1392}{26,416} = 28,7$$

$$\frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{253,1}} = 41,8$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_r \dots (\text{OK})$$

Faktor panjang efektif

Bagian dasar kolom diasumsikan jepit, sehingga  $G_A = 1$

Momen inersia kolom WF 33x318

$$I_x = 811590 \text{ cm}^4$$

Momen inersia *Castellated beam* 510,5 x 31,496 x 20,006 x 31,75

$$I_x = 129681,9469 \text{ cm}^4$$

Faktor panjang efektif k

$$G_B = \frac{\sum \left( \frac{I}{L} \right)_{\text{kolom}}}{\sum \left( \frac{I}{L} \right)_{\text{balok}}}$$

$$G_B = \frac{3607,06}{811590}$$

$$G_B = 7,5$$

Diperoleh :

$$k_c = 1,81 \quad (\text{dari nomogram diagram})$$

$$\lambda_c = \frac{k_c \cdot L}{r_x \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}}$$

$$\lambda_c = \frac{1,81 \cdot 4500}{94,234 \cdot \pi} \sqrt{\frac{250}{200000}}$$

$$\lambda_c = 0,97$$

Karena  $0,25 < \lambda_c = 0,97 < 1,2$ , (Kolom menengah *inelastic*) maka:

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot \lambda_c)}$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot 0,97)}$$

$$\omega = 1,505$$



$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega}$$

$$f_{cr} = \frac{250}{1,505}$$

$$f_{cr} = 166,10 \text{ Mpa}$$

Kuat rencana nominal

$$N_n = A_s \cdot f_{cr}$$

$$N_n = 60386,976 \cdot 166,10$$

$$N_n = 10030361,17 \text{ N}$$

$$N_n = 1003036,117 \text{ kg}$$

$$N_u \leq \phi \cdot N_n$$

$$255658,120 \leq 0,85 \cdot 1003036,117$$

$$255658,120 \text{ kg} \leq 852580,6995 \text{ kg} \dots (\text{OK})$$

Dengan cara yang sama, didapatkan hasil kuat rencana kolom pada kolom lain seperti dalam tabel berikut :

Tabel 4.11 Rekapitulasi kuat rencana kolom

Kolom	Profil	Nu (kg)	$\Phi N_n$ (kg)	Kontrol
K1	WF 33x318	255658,120	852580,6995	ok
K2	WF 30x292	81711,47	854930,818	ok

#### 4.8.2 Hubungan balok-kolom

$$M_1 = 42957,229 \text{ kgm}$$

$$M_A = 84205,606 \text{ kgm}$$

$$M_B = 125453,990 \text{ kgm}$$

$$M_C = 166702,350 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 211433,080 \text{ kgm}$$

Cek kelangsingan penampang profil

$$\frac{N_u}{\phi_b N_y} = \frac{255658,120}{852580,6995}$$

$$= 0,299 > 0,125$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda = \frac{758,139}{26,416}$$

$$\lambda = 28,7$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} \left( 2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right) > \frac{665}{\sqrt{f_y}}$$

$$\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{250}} \left( 2,33 - \frac{255658,120}{852580,6995} \right) > \frac{665}{\sqrt{250}}$$

$$\lambda_p = 64,198 > 42,05$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$28,7 < 64,198 \text{ (Maka penampang kompak) .. (OK)}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan hasil kelangsingan profil kolom pada kolom yang lain seperti dalam tabel berikut :

Tabel 4.12 Rekapitulasi kelangsingan profil kolom

Kolom	Profil	$\frac{h}{t_w}$	$\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left( 2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right)$	$\frac{665}{\sqrt{f_y}}$	Kontrol
K1	WF 33x318	28.7	64,198	42,05	ok
K2	WF 30x292	26.2	70,658	42,05	ok

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \cdot r_y$$

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{250}} \cdot 94,234$$

$$L_p = 4708,306 \text{ mm}$$

$$f_L = f_y - f_r$$

$$f_L = 250 - 70$$

$$f_L = 180$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E_s \cdot G \cdot J \cdot A}{2}}$$

$$X_1 = \frac{\pi}{18189641,040} \sqrt{\frac{200000 \cdot 80000 \cdot 35129932,321 \cdot 60386,976}{2}}$$

$$X_1 = 22488,517 \text{ Mpa}$$

$$X_2 = \frac{4 \cdot C_w}{I_y} \left( \frac{S_x}{G \cdot J} \right)$$

$$X_2 = \frac{4 \cdot 95867304354814,3}{536938539,024} \left( \frac{18189641,040}{80000 \cdot 35129932,321} \right)$$

$$X_2 = 4,622 \text{ mm}^4 / \text{N}^2$$

$$L_r = r_y \frac{X_1}{f_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 (f_L)^2}}$$

$$L_r = 94,234 \frac{22488,517}{180} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 4,622 (180)^2}}$$

$$L_r = 231897,47 \text{ mm}$$

$$L < L_p$$

$$4500 \text{ mm} < 4679,384 \text{ mm} \dots (\text{OK})$$



$$\text{Sehingga } M_n = M_p$$

$$M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$M_p = 20811571,280 \cdot 250$$

$$M_p = 5202892820 \text{ Nmm}$$

$$M_p = 520289,2820 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot M_p$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 520289,2820$$

$$\phi M_n = 468260,3538 \text{ kgm}$$

Menentukan perbesaran momen :

$$\frac{k_c \cdot L}{r_x} = \frac{1,81 \cdot 4500}{368,3}$$

$$\frac{k_c \cdot L}{r_x} = 22,115$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \cdot (M_1/M_2)$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \cdot (42957,229/211433,080)$$

$$C_m = 0,519$$

$$N_{el} = \frac{\pi \cdot E_s \cdot A_g}{\left(k \cdot \frac{L}{r}\right)^2}$$

$$N_{el} = \frac{\pi \cdot 200000 \cdot 60386,976}{(18,205)^2}$$

$$N_{el} = 114425168,1 \text{ N}$$

$$N_{el} = 11442516,81 \text{ kg}$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}}$$

$$\delta_b = \frac{0,519}{1 - \frac{255658,12}{11442516,81}}$$

$$\delta_b = 0,520 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)}$$

$$M_u = \delta_b \cdot M_{u \text{ maks}}$$

$$M_u = 1 \cdot 211433,080$$

$$M_u = 211433,080 \text{ kgm}$$

Kontrol Kuat Tekan Lentur :

$$\frac{N_u}{\phi_b N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_u}{\phi_b M_n} \right) < 1,0$$

$$\frac{255658,120}{852580,6995} + \frac{8}{9} \left( \frac{211433,080}{474066,782} \right) < 1,0$$

$$0,696 < 1,0 \dots \text{(OK)}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh hasil kombinasi aksial lentur kolom pada kolom yang lain seperti dalam tabel berikut:

Tabel 4.13 Rekapitulasi kombinasi aksial lentur kolom

Kolom	Profil (in)	$M_u$ (kgcm)	$\frac{N_u}{\phi_b N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_u}{\phi_b M_n} \right)$	Kontrol
K1	WF 33x318	211433.080	0,696	ok
K2	WF 30x292	170862.600	0.565	ok

#### 4.9 Perencanaan Pengaku

Pengaku pada struktur diperlukan agar struktur tersebut lebih stabil. Terdapat 2 macam pengaku yang dianalisis, yaitu pengaku tumpuan dan pengaku vertikal. Analisis terhadap pengaku ini dilakukan berdasarkan SNI 03-1729-2002.

Contoh perhitungan dilakukan pada balok BC-4 (B1) lantai 2 menggunakan profil WF 12 x 136.

#### 4.9.1 Pengaku tumpuan

Dimensi penampang balok yang telah direncanakan sebelumnya, sudah aman terhadap lentur, geser dan lendutan. Tapi, pada penampang balok masih ada kemungkinan terjadi tekuk atau leleh pada badan dan sayap profil baja di daerah tumpuan akibat reaksi balok. Oleh karena itu, perlu direncanakan ada tidaknya pengaku pada balok.

Data balok:

$$V_{u \text{ maks}} = 38101.602 \text{ kg}$$

Lentur pelat sayap :

$$R_b = 6,25 \cdot t_f^2 \cdot f_y$$

$$R_b = 6,25 \cdot 31,75 \cdot 250$$

$$R_b = 1575097,656 \text{ N}$$

Kuat leleh pelat badan :

$$R_b = (5k + N) \cdot f_y \cdot t_w$$

$$R_b = (5 \cdot 46,99 + 46,99) \cdot 250 \cdot 20,066$$

$$R_b = 1414352,01 \text{ N}$$

Kuat tekuk dukung pelat badan :

$$R_b = 0,8 \cdot t_w^2 \cdot \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E_s \cdot f_y \cdot t_f}{t_w}}$$

$$R_b = 0,8 \cdot 20,066^2 \cdot \left[ 1 + 3 \left( \frac{46,99}{340,36} \right) \left( \frac{20,066}{31,75} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{200000 \cdot 250 \cdot 31,75}{20,066}}$$

$$R_b = 3461026,191 \text{ N}$$



Kuat lentur pelat badan

$$R_b = \frac{24,08 \cdot t_w \cdot \sqrt{E_s \cdot f_y}}{h}$$

$$R_b = \frac{24,08 \cdot 20,066^3 \cdot \sqrt{200000 \cdot 250}}{239,396}$$

$$R_b = 2677367,737 \text{ N}$$

Sehingga  $R_b = 1414352,01 \text{ N}$  (diambil yang terkecil)

$$R_b = 141435,201 \text{ kg}$$

$$R_u \leq \phi_b \cdot R_b$$

$$R_u \leq 0,9 \cdot 141435,201$$

$$38101,602 \text{ kg} \leq 127291,6809 \text{ kg}$$

jadi, penampang balok tidak memerlukan pengaku pada tumpuan.

Dengan cara yang sama, diperoleh hasil kuat tumpu balok pada bentang lain seperti dala Tabel berikut:

Tabel 4.14 Rekapitulasi kuat tumpu balok

Balok	Profil (in)	Vu (kg)	Vn (kg)	0.9 Rb (kg)	kontrol
B1	WF 12x136	37056,78	135110,062	281292,532	Ok
B2	WF 18x192	32774,62	195037,9182	277847,2265	Ok

#### 4.9.2 Pengaku vertikal

Pengaku vertikal diperlukan jika pelat badan tidak kuat menahan gaya geser yang terjadi akibat beban. Pada analisa kuat geser sebelumnya, semua pelat badan penampang balok aman terhadap gaya geser yang terjadi. Sehingga, pada balok tidak diperlukan pengaku vertikal.