

# Perencanaan Struktur Komposit Tahan Gempa Menggunakan *Hexagonal Castellated Beam* Pada Gedung Dekanat FTUB Malang

**Tri Juli Ahmadin, M. Taufik Hidayat, Achfas Zacoeb**

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

Jalan M.T. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email : tri\_juli\_ahmadin@yahoo.co.id

## ABSTRAK

*Perencanaan struktur tahan gempa pada Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang ini menggunakan bahan komposit dan balok yang digunakan adalah hexagonal castellated beam. Balok tersebut adalah balok tampang I dengan lubang atau bukaan pada badan. Konsep perencanaan di bagi menjadi dua yaitu metoda kekuatan dan kinerja batas layan. Pada perencanaan ini dilakukan beberapa kali percobaan dimensi balok, hingga akhirnya didapat profil WF paling optimal yang nantinya akan dirancang menjadi castellated beam. Untuk kolom digunakan profil WF yang diselimuti beton. Sambungan untuk balok-kolom digunakan las, sedangkan sambungan untuk kolom-kolom digunakan baut. Keuntungan dari pemakaian castellated beam ini adalah tinggi profil bisa meningkat sampai 50 %, sehingga meningkatkan nilai lentur aksial, momen inersia, dan seksion modulus. Namun perlu diperhatikan pada saat penggambaran, karena ada kemungkinan gambar tidak sesuai dengan hitungan.*

**Kata kunci :** komposit, tahan gempa, castellated beam.

## Pendahuluan

Saat ini kebutuhan akan pendidikan tinggi terus meningkat, hal ini dimanfaatkan beberapa perguruan tinggi untuk menambah mahasiswa. Peningkatan jumlah mahasiswa tidak sebanding dengan tersedianya lahan, oleh karena itu bangunan tinggi merupakan solusi terbaik. Masalah yang sering timbul pada perencanaan bangunan tinggi adalah kemampuan struktur dalam menahan gempa. Maka dari itu, setiap bangunan tinggi harus direncanakan tahan terhadap gempa.

Perencanaan Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang ini menggunakan bahan komposit dan balok yang digunakan adalah *hexagonal castellated beam*. Balok tersebut adalah balok tampang I dengan lubang atau bukaan pada badan.

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk menjelaskan bagaimana perencanaan struktur komposit tahan gempa yang menggunakan *castellated beam* dan kolom baja yang diselubungi beton.

## Metode Penelitian

Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang merupakan gedung perkantoran yang terdiri dari delapan lantai, terdapat pada zona gempa 4. Mutu beton yang digunakan adalah K-300 dan mutu baja A36. Langkah-langkah perencanaan meliputi :

1. Analisis pembebanan
2. Analisis statika
3. Desain penampang
4. Gambar struktur

## Hasil dan Pembahasan

### 1. Perencanaan dimensi struktur

Pada perencanaan ini direncanakan tebal pelat 15 cm. profil balok yang digunakan yaitu :

- Bentang 5,4 m lantai 2-4 : WF 12x72
- Bentang 5,4 m lantai 5-8 : WF 12x50
- Bentang 4,2 m lantai 2&3 : WF 10x60
- Bentang 4,2 m lantai 4-8 : WF 10x39
- Bentang 1,9 m lantai 2-8 : WF 10x19

Dimensi kolom direncanakan sebagai berikut:

- Kolom lantai 1-4 : WF 14x90
- Kolom lantai 5-8 : WF 12x58

### 2. Analisis beban gravitasi

Pada kondisi sebelum komposit, beban yang bekerja hanya beban sendiri balok sedangkan pada kondisi setelah komposit, semua beban bekerja. Beban gravitasi ini terdiri dari beban mati dan beban hidup.

**Tabel 1** Rekap pembebanan balok

Balok	B. mati (N/m)	B. hidup (N/m)
Bentang 5,4 portal tengah	17490	9450
Bentang 5,4 portal tepi	23570	4730
Bentang 4,2 portal tengah	14070	7350
Bentang 4,2 portal tepi	20580	2870
Bentang 3,28m lt. 2-8	20450	2870
Bentang 1,9m lt. 2-8	17830	1670

### 3. Analisis beban gempa

- Bangunan terletak di zona gempa 4
- Kondisi tanah sedang

- Waktu getar alami  $T = 1,3160$  detik
- Koefisien  $\zeta = 0,17$
- Faktor respon gempa  $C = 0,5527$
- Faktor keutamaan  $I = 1$
- Faktor reduksi  $R = 8,5$

Massa bangunan ( $W_t$ )

- Tingkat 8 = 4072800 N
- Tingkat 7 = 4209800 N
- Tingkat 6 = 4057910 N
- Tingkat 5 = 4025100 N
- Tingkat 4 = 4463440 N
- Tingkat 3 = 4771440 N
- Tingkat 2 = 5888550 N
- Tingkat 1 = 0

$W_t = 31489050$  N

- Gaya geser total akibat gempa :

$$V = \frac{C \cdot I}{R} \cdot W_t = \frac{0,5527 \times 1}{8,5} \cdot 31489050 = 2047600 \text{ N}$$

**Tabel 2** Distribusi gaya geser gempa

Tingkat	F-melintang (N)	F-memanjang (N)
8	90185,6	150309,4
7	81164,0	135273,4
6	66615,2	111025,3
5	54981,6	91636,0
4	48666,0	81110,0
3	38872,0	64786,6
2	29036,2	48393,7
1	0	0

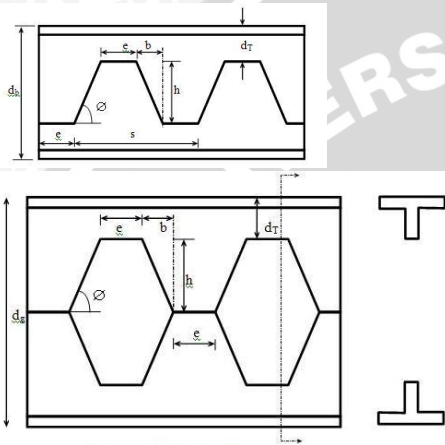
### 4. Kombinasi pembebanan

- Kombinasi 1 :  $U = 1,4 D$
- Kombinasi 2 :  $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R)$
- Kombinasi 3 :  $U = 1,2 D + 1,0 L + 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R)$
- Kombinasi 4 :  $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E1$
- Kombinasi 5 :  $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E2$
- Kombinasi 6 :  $U = 0,9 D \pm 1,0 E1$
- Kombinasi 7 :  $U = 0,9 D \pm 1,0 E2$

5. Pemodelan struktur

Struktur utama dianalisa tiga dimensi dengan analisa statik ekuivalen yang dilakukan serentak dengan kombinasi pembebanan yang disyaratkan SNI 03-1729-2002. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa yang sembarang perlu di modelkan adanya arah pembebanan orthogonal atau dua arah (SNI 03-1726-2002 Pasal 5.8).

6. Perencanaan balok



Gambar 1 Balok WF & castellated beam

Langkah perencanaan balok kastella adalah sebagai berikut :

- Menentukan *section modulus* balok WF

$$S_g = \frac{M_{max}}{\sigma} = \frac{35412000}{0,6.253,1} = 2331900 \text{ mm}^3$$

- Hubungan *castellated beam* dengan balok WF

$$K_1 = \frac{d_g}{d_b} \leq 1,5$$

Dipakai  $K_1 = 1,5 \rightarrow$  nilai  $S_b = 1554600 \text{ mm}^3$

Balok yang digunakan WF 12 x 72, dengan  $S_b = 1596000 \text{ mm}^3$

Jadi nilai  $K_1$  didapat :  $\frac{2331900}{1596000} = 1,46$

- Menentukan tinggi potongan zig-zag  
 $h = d_b (K_1 - 1) = 312,4 (1,46-1) = 144,05 \text{ mm} \rightarrow$  direncanakan  $h = 130 \text{ mm}$

Syarat tinggi potongan:

$$d_t \geq \frac{V_{max}}{2.tw.\tau} \geq \frac{195680}{2.10,9.0,4.253,1} \geq 79,6 \text{ mm}$$

$$h \leq d_b/2 - h \leq 312,4/2 - 140 \leq 153,15 \text{ mm} \rightarrow$$
 tinggi potongan rencana memenuhi

- Menentukan tinggi *castellated beam*

$$d_g = d_b + h = 442,4 \text{ mm}$$

$$d_t = d_g/2 - h = 96,2 \text{ mm}$$

$$d_s = d_t - t_f = 61,2 \text{ mm}$$

- Menentukan sudut dan lebar potongan

Dicoba  $\phi = 60^\circ \rightarrow \tan \phi = 1,732$

$$h = 130 \text{ cm} \rightarrow b = 130/1,732 = 75,1 \text{ mm}$$

diambil  $b = 70 \text{ mm}$

$$S = 2 (b + e) = 2 (70 + e)$$

$$d = 413,1 \text{ mm}$$

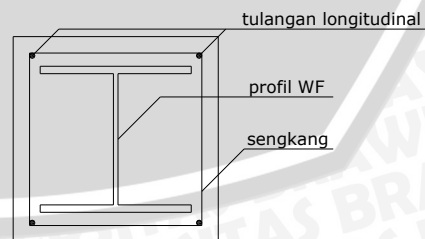
$V = 177380 \text{ N}$  (untuk jarak 600 mm dari tumpuan)

$$V_h = V \cdot \frac{S}{d} = \frac{177380 \times 2 (70 + e)}{413,1}$$

$$\tau_h = \frac{V_h}{tw.e} = 0,4 \times 253,1 = \frac{177380 \times 2 (70 + e)}{413,1 \times 10,9 e}$$

$$\rightarrow e = 250 \text{ mm}$$

7. Perencanaan kolom



Gambar 2 Kolom komposit



- Kolom baja diselubungi beton dengan dimensi 50/50
- Periksa luas minimum profil baja  
 $A_s/A_c = 17097 / 250000 \times 100\% = 6,84\% > 4\%$  OK
- Jarak sengkang  $< 2/3 b = 33,33 \text{ cm} = 333,3 \text{ mm}$
- Diambil jarak sengkang = 200 mm
- Diameter sengkang = 10 mm  $\rightarrow \text{Ø}10$
- Diameter tulangan = 13 mm  $\rightarrow \text{D}13$
- Tebal selimut beton = 40 mm
- Jarak antar tulangan =  $b - 2 \times \text{selimut beton} - 2 \times \text{diameter sengkang} - \text{diameter tulangan} = 387 \text{ mm}$
- Luas tulangan =  $132,7 \text{ mm}^2 > 0,18 \text{ mm}^2/\text{mm} \times \text{jarak antar tulangan} > 69,7 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$
- Luas Sengkang =  $78,5 \text{ cm}^2 > 0,18 \text{ mm}^2/\text{mm} \times \text{jarak antar sengkang} > 36 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$

• Tegangan leleh modifikasi

$$f_{my} = f_y + c_1 \cdot f_{yr} \cdot \left(\frac{A_r}{A_s}\right) + c_2 \cdot f_c \cdot \left(\frac{A_c}{A_s}\right) = 506,44 \text{ MPa}$$

- Jari-jari girasi kolom  $r_m = 150 \text{ mm}$
- Faktor panjang efektif k ditentukan dengan faktor G  
 $G_A = 1$  (jepit-jepit)  
 $G_B = \{\Sigma(I/L)_{\text{kolom}}\} / \{\Sigma(I/L)_{\text{balok}}\} = 0,73$   
 $k = 0,75 \rightarrow$  dari nomogram diagram
- Kuat tekan komposit

$$\lambda_c = \frac{k_c \cdot L}{r_m \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} = 1,08$$

$$\rightarrow 0,25 < \lambda_c < 1,2$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} = 1,63$$

$$f_{cr} = f_{my} / \omega = 306,175 \text{ MPa}$$

$$N_n = A_s \cdot f_{cr} = 5234600 \text{ N}$$

$$\phi N_n = 0,85 N_n = 4449410 \text{ N}$$

Kuat tekan rencana profil WF 14x90

$$\phi N_{ns} = 0,85 \cdot A_s \cdot f_y = 3678110 \text{ N}$$

Beban aksial tekan yang dipikul oleh beton

$$\phi N_{nc} = \phi N_n - \phi N_{ns} = 771304 \text{ N}$$

$$1,7 \cdot \phi \cdot f_c \cdot A_b = 7650000 \text{ N} > \phi N_{nc} \rightarrow \text{OK}$$

• Aksi balok

Periksa kekompakan profil

$$\frac{b_f}{2 \cdot t_f} = 10,21 < \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 10,69$$

$\rightarrow$  penampang kompak

$$N_u / \phi N_y = 0,53 > 0,125$$

$$\rightarrow \lambda_p = \frac{500 \cdot (2,33 - N_u / \phi N_y)}{\sqrt{f_y}} = 56,72$$

$$\frac{h}{t_w} = 28,59 < 56,72$$

$\rightarrow$  penampang kompak

Karena  $L_p < L < L_r$ , maka  $M_n$  terletak di antara  $M_p$  dan  $M_r$  untuk  $C_b = 1$ . Namun pada kasus ini nilai  $C_b = 2,27$  sehingga ada kemungkinan  $M_n = M_p$ .

$$M_p = Z_x \cdot f_y = 6512,26 \text{ kNm} \rightarrow \text{dengan } Z_x = 2573000 \text{ mm}^3$$

$$M_r = S_x \cdot (f_y - f_r) = 4290,03 \text{ kNm} \rightarrow \text{dengan } S_x = 2343000 \text{ mm}^3 ; f_r = 70 \text{ MPa}$$

$$M_n = C_b \left[ M_r + (M_p - M_r) \frac{L - L_p}{L_r - L_p} \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1033184 \text{ Nm}$$

Karena  $M_n$  tidak boleh lebih besar dari  $M_p$ , maka dalam kasus ini  $M_n = M_p$

$$\phi_b \cdot M_{nx} = 0,9 \times 6512,26 = 5861037 \text{ Nm}$$

• Perbesaran momen

$$\frac{k_x \cdot L_x}{r_x} = \frac{1,5050}{153,4} = 32,92$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 M_1 / M_2 = 0,35$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_s}{(k_x \cdot L_x / r_x)^2} = 31107890 \text{ N}$$

$$\delta_s = \frac{C_m}{1 - N_u / N_{el}} = 0,38 < 1 \rightarrow \text{ambil } \delta_s = 1$$

$$M_{ux} = \delta_b \cdot M_{ntu} = 1.273780 = 273780 \text{ Nm}$$

## 8. Perencanaan sambungan

- Penghubung geser

Digunakan penghubung geser tipe paku atau stud dengan data sebagai berikut :

- Diameter :  $d = 20 \text{ mm}$
- Luas :  $A_{sc} = 314 \text{ mm}^2$
- Tinggi :  $t = 76 \text{ mm}$
- Mutu stud :  $q_u = 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_C} = 0,5 \times 314 \times \sqrt{30 \times 23453} = 44500 \text{ N}$

Berikut ini adalah contoh perhitungan penhubung geser untuk balok dengan bentang 5,4 m pada lantai 2-4:

### a. Untuk daerah momen positif

- Menentukan garis netral pada penampang balok.

$$y = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{11886 \cdot 253,1}{0,85 \cdot 24,5 \cdot 1350}$$

$$= 87,4 \text{ mm} < \text{tebal pelat} = 150 \text{ mm}$$

Jadi, garis netral berada di daerah pelat.

- Luas bagian baja yang mengalami tekan.

$$A_s' = \frac{A_s \cdot f_y - 0,5 \cdot f'_c \cdot b_e \cdot t}{2 \cdot f_y}$$

$$= \frac{11886 \cdot 253,1 - 0,85 \cdot 24,5 \cdot 1350 \cdot 150}{2 \cdot 253,1}$$

$$= - 5,78 \text{ mm}$$

Karena nilainya negatif, maka semua bagian baja mengalami tarik.

- Luas bagian baja yang mengalami tarik.

$$A_{os} = A_s = 11886 \text{ mm}^2$$

- Gaya horisontal ultimit yang dapat ditahan penghubung geser.

$$V_h = \frac{A_{os} \cdot f_y}{2} = \frac{11886 \cdot 253,1}{2} = 1504170 \text{ N}$$

$$V_h = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e \cdot t}{2}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 24,5 \cdot 1350 \cdot 150}{2} = 2581880 \text{ N}$$

Dipakai  $V_h$  terkecil yaitu 1504170 N

- Jumlah penghubung geser ( $N_1$ )

$$N_1 = V_h / q_u = 1504170 / 44500 = 33,802 \rightarrow \text{dipakai } 34 \text{ paku untuk setengah bentang.}$$

### b. Untuk daerah momen negatif

- Gaya geser horisontal untuk daerah momen negatif.

$$V_h' = 20,52 \times 20800 = 426520 \text{ N}$$

- Jumlah penghubung geser ( $N_2$ )

$$N_2 = V_h' / q_u = 426520 / 44500 = 9,59 \rightarrow \text{dipakai } 10 \text{ paku untuk setengah bentang.}$$

**Tabel 3** Rekapitulasi jumlah penghubung geser

Balok	$N_1$	$N_2$	$\Sigma$
5,4m lt. 2-4	34	10	44
5,4m lt. 5-8	24	10	34
4,2m lt. 2&3	28	8	36
4,2m lt. 4-8	20	8	28
1,9m lt. 2-8	10	4	14

- Sambungan balok-kolom

Sambungan menggunakan elektroda las

E70 dengan data las sebagai berikut:

$$f_u = 492,1 \text{ MPa (kuat tarik nominal)}$$

$$f_v = 147,63 \text{ MPa (teg. geser ijin)}$$

$$f_t = 151,86 \text{ MPa (teg. tarik ijin)}$$

- Sambungan las flens balok dengan flens kolom  $\rightarrow$  dipakai las sudut

$$M \text{ Tumpuan} = 354120 \text{ Nm}$$

$$T = C = M / d_g = 35412000 / 45,24 = 78273 \text{ N}$$

Ukuran las minimum (SNI 2002 Tabel 15.3-1)

$$\text{Pelat tebal} < 7 \text{ mm} \rightarrow a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } a = 15 \text{ mm}$$

$$T_t = 0,707 \cdot a = 10,0605 \text{ mm}$$

$$\text{Kekuatan las : } \phi_f R_{nw} = 0,75 \cdot T_t \cdot (0,6 \cdot F_u) = 3020 \text{ N/mm}$$

$$\text{Panjang las } L_w = T / \phi_f R_{nw} = 259,2 \text{ mm} \rightarrow \text{digunakan panjang las} = 260 \text{ mm}$$

- Sambungan las flens bawah balok dengan flens kolom

$$V = 195680 \text{ N}$$

$$\text{Tinjauan sambungan pada satu sisi balok} \rightarrow V_1 = V_2 = V / 2 = 97840 \text{ N}$$

Ukuran las minimum (SNI 2002 Tabel 15.3-1) - 2 bidang geser = 2 x 94050 = 188100 N

Pelat tebal < 7 mm →  $a_{min} = 3$  mm

Dipakai  $a = 8$  mm

$T_t = 0,707 \cdot a = 5,656$  mm

Kekuatan las :  $\phi_f R_{nw} = 0,75 \cdot T_t \cdot (0,6 \cdot F_u) = 645$  N/mm =  $0,75 \times 2,4 \times 400 \times 22 \times 11,176 = 177020$  N

Panjang las  $L_w = T / \phi_f R_{nw} = 151,9$  mm → digunakan panjang las = 160 mm

**Tabel 4** Rekapitulasi panjang las

Balok	Kolom	Flens (cm)	Web (cm)
WF12x72	WF14x90	26	16
WF12x50	WF14x90	18	16
WF10x60	WF14x90	22	16
WF10x39	WF14x90	19	12
WF12x50	WF12x58	18	16
WF10x39	WF12x58	19	12
WF10x19	WF14x90	10	8
WF10x19	WF12x58	10	8

• Sambungan kolom-kolom

Pada sambungan kolom-kolom ini digunakan alat sambung baut dengan data sebagai berikut:

- Mutu pelat :  $f_u^p = 400$  MPa
- $f_u^p$  ijin :  $f_u^p / 1,5 = 266,67$  MPa
- Mutu baut : A325, dengan data sebagai berikut :
  - $d_b = 22$  mm
  - $A_b = 380$  mm<sup>2</sup>
  - $f_u^b = 825$  MPa

Contoh perhitungan kolom-kolom dilakukan pada kolom lantai 1-4 dengan data sebagai berikut :

- Tinggi pelat direncanakan sebagai berikut :
  - h pelat badan = 240 mm
  - h pelat sayap = 330 mm
- Tahanan nominal baut ( $\phi R_n$ )
  - Geser
    - $f_u^b = 0,75 \times 0,4 \times 380 \times 825 = 94050$  N

• Tumpu

- Badan balok =  $0,75 \times 2,4 \times f_u^p \times d_b \times t_w = 0,75 \times 2,4 \times 400 \times 22 \times 11,176 = 177020$  N
- Sayap balok =  $0,75 \times 2,4 \times f_u^p \times d_b \times t_f = 0,75 \times 2,4 \times 400 \times 22 \times 18,034 = 285650$  N

• Pada badan

- Dipakai tahanan nominal yang terkecil  $\phi R_n = 177020$  N
- Jumlah baut :  $n = V_u / \phi R_n = 88840 / 177020 = 0,51$  → dipakai jumlah baut sebanyak 2 buah

- Tebal pelat

- 1 pelat ≥ 1 badan
- $2 \times 1/12 \times t \times h^3 \geq 1/12 \times t_w \times (d - 2t_f)^3$
- $2 \times 1/12 \times t \times 240^3 \geq 1/12 \times 11,176 \times (355,6 - 2 \times 18,034)^3$
- $t \geq 13,2$  mm → dipakai  $t = 14$  mm

- Syarat jarak baut :

- $1,5d_b = 33$  mm
- $3d_b = 72,6$  mm
- $15t_w = 167,64$  mm
- $4t_w + 10 = 144,7$  mm

• Pada sayap

- Tebal pelat (t)
  - $S = M_u / d = 273780000 / 355,6 = 769910$  N
  - $A_n = S / f_u^p \text{ ijin} = 769910 / 266,67 = 2887$  mm<sup>2</sup>

t =  $A_n / h$  pelat

- =  $2887 / 330 = 8,7$  mm → dipakai  $t = 10$  mm

- Dipakai tahanan nominal yang terkecil  $\phi R_n = 94050$  N



- 1 bidang geser =  $0,75 \times 0,4 \times A_b \times$
- Jumlah baut :  $n = S / \varnothing R_n$   
 $= 769910/94050$   
 $= 8,19 \rightarrow$  dipakai jumlah baut  
 sebanyak 10 buah

- Jarak antar baut  
 $3d_b \leq S \leq 15t_w$  atau 200 mm ( diambil terkecil)  
 $72,6 \text{ mm} \leq S \leq 167,64 \text{ mm}$
- Jarak baut dengan tepi pelat  
 $1,5d_b \leq S \leq 4t_w + 10$  atau 20 cm ( diambil  
 terkecil)  
 $33 \text{ mm} \leq S \leq 144,7 \text{ mm}$

Pada kolom lantai 5-8 dilakukan cara yang sama sehingga didapat:

- Jumlah baut
  - Pada badan = 2 buah
  - Pada sayap = 6 buah
- Tebal pelat
  - Pada badan = 14 mm
  - Pada sayap = 10 mm
- Jarak antar baut :  
 $72,6 \text{ mm} \leq S \leq 137,16 \text{ mm}$
- Jarak baut dengan tepi pelat :  
 $33 \text{ mm} \leq S \leq 136,58 \text{ mm}$

### 9. Kontrol Desain

- Kontrol tegangan lentur ijin *castellated beam*
- Tegangan lentur tarik ijin:  
 $\sigma_t = 0,6 \cdot f_y = 151,86 \text{ MPa}$
- Tegangan lentur tekan ijin :  
 $\sigma_s = 22000 - 14,44 (h/tw)^2 = 153,45 \text{ MPa}$
- Momen tumpuan:  $M = 354120 \text{ Nm}$
- Gaya lintang:  $V = 195680 \text{ N}$
- Tinjauan balok pada bagian berlubang :

a. Tegangan lentur total pada tulangan pelat

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_c} + \frac{V \cdot e \cdot y}{I_{Tc}}$$

$$= \frac{35412000 \cdot (178-40)}{2328960000} + \frac{195680 \cdot 250 \cdot 93,272}{54893000}$$

$$= 33,3 \text{ MPa} < 1,3 \sigma_t = 199,5 \text{ MPa OK}$$

- b. Tegangan lentur total pada flens

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_c} + \frac{V \cdot e \cdot y}{I_{Tc}}$$

$$= \frac{35412000 \cdot 178}{2328960000} + \frac{195680 \cdot 250 \cdot (91,2-76,54)}{54519000}$$

$$= 67,6 \text{ MPa} < 1,3 \sigma_s = 197,4 \text{ MPa OK}$$

- Kontrol desain kolom
- Kontrol desain untuk kolom lantai 1-4

- $M_u = 273780 \text{ Nm}$
- $N_u = 2549490 \text{ N}$
- $\varnothing_b M_n = 586100 \text{ Nm}$
- $\varnothing_b N_n = 4449410 \text{ N}$

Desain kolom harus memenuhi persamaan:

$$\frac{N_u}{\varnothing_b N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_u}{\varnothing_b M_n} \right) \leq 1$$

$$\frac{2549490}{4449410} + \frac{8}{9} \left( \frac{273780}{586100} \right) \leq 1$$

$$0,988 \leq 1 \text{ OK}$$

- Kontrol desain untuk kolom lantai 5-8

- $M_u = 168000 \text{ Nm}$
- $N_u = 1086250 \text{ N}$
- $\varnothing_b M_n = 322320 \text{ Nm}$
- $\varnothing_b N_n = 3131540 \text{ N}$

Desain kolom harus memenuhi persamaan:

$$\frac{N_u}{\varnothing_b N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_u}{\varnothing_b M_n} \right) \leq 1$$

$$\frac{1086250}{3131540} + \frac{8}{9} \left( \frac{168000}{322320} \right) \leq 1$$

$$0,833 \leq 1 \text{ OK}$$

### 10. Perbandingan balok WF dengan *castellated beam*

*Castellated beam* memiliki beberapa kelebihan salah satunya yaitu inersianya lebih besar dibanding balok WF biasa. Dengan bertambahnya nilai inersia, maka nilai lentur akan meningkat. Berikut ini adalah contoh perhitungan tegangan lentur dari balok WF yang nantinya akan dibandingkan dengan tegangan lentur dari *castellated beam*. Contoh perhitungan dilakukan pada profil WF 12x72.

- Perhitungan titik berat

$$b_e/n = 15$$

$$A_{\text{beton}} = 225 \text{ cm}^2$$

$$Y_b = \frac{136,1 \times 15,62 + 225 \times 38,74}{361,13} = 30,03 \text{ cm}$$

$$Y_a = 31,2 + 15 - 30,03 = 16,22 \text{ cm}$$

- Perhitungan tegangan lentur

$$I_{x1} = I_x + A_1 (Y_b - y_1)^2$$

$$= 12971.3$$

$$+ b \cdot h^3/12 + A_2 (y_2 -$$

$$I_{x2} = Y_b)$$

$$= 1642.77$$

$$I_{xc} = 16399.5 + 5425.31$$

$$= 8063.93$$

$$\sigma = M \cdot y / I > \bar{\sigma}$$

$$197,55 > 151,86 \text{ MPa}$$

Uraian di atas menunjukkan bahwa profil WF sebelum dijadikan *castellated beam* tidak mampu menahan lentur yang terjadi.

Namun setelah dijadikan *castellated beam*, profil tersebut nilai lenturnya meningkat sehingga mampu menahan momen yang terjadi.

## 11. Pembahasan

Perencanaan ulang Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang ini menggunakan bahan komposit baja beton. Balok yang digunakan adalah *castellated beam* atau yang biasa disebut *honeycomb beam* yaitu balok dengan tampang I yang dipotong zig-zag, sedangkan kolom yang digunakan adalah kolom WF yang diselubungi beton. Perencanaan ini menggunakan mutu baja A36 dan mutu beton K-300. Untuk sambungan balok-kolom digunakan las dengan mutu E90, sedangkan sambungan kolom-kolom digunakan baut dengan mutu A490. Beban yang diperhitungkan dalam pembebanan struktur adalah beban gempa dan

beban gravitasi, yang mana seluruh beban tersebut ditahan oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Karena struktur gedung terdiri dari delapan lantai, sehingga beban lateral dalam hal ini gempa cukup berpengaruh.

Analisis yang digunakan adalah analisis statis ekuivalen dengan menggunakan program aplikasi analisis struktur. Data yang dimasukkan yaitu beban gravitasi dan beban gempa yang telah dikombinasikan berdasarkan SNI 03-1729-2002. Sedangkan keluaran yang dihasilkan adalah berupa gaya-gaya dalam dari struktur yang berupa momen, gaya lintang, dan gaya aksial. Gaya-gaya dalam tersebut digunakan untuk mengontrol balok dan kolom yang telah diperkirakan di awal perencanaan serta untuk merencanakan sambungan balok-kolom maupun sambungan kolom-kolom.

## Kesimpulan

Perencanaan ulang Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang menggunakan bahan komposit baja-beton. Bahan komposit memiliki beberapa kelebihan, yaitu berat baja bisa dihemat, penampang yang digunakan bisa lebih kecil, kekakuan lantai meningkat, kapasitas menahan beban lebih besar, dan panjang bentang untuk balok tertentu bisa lebih panjang. Balok yang digunakan pada perencanaan ini adalah *castellated beam*. Dengan balok tersebut, tinggi profil bisa meningkat sampai 50 %, sehingga meningkatkan nilai lentur aksial, momen inersia, dan seksion modulus. Pernyataan tersebut dapat dibuktikan pada perbandingan balok WF dengan *castellated beam*. Sedangkan kolom yang digunakan adalah kolom dengan profil WF yang diselubungi beton. Gedung ini dirancang tahan gempa



menggunakan konsep Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dan beban dianalisis dengan metode statis ekuivalen dengan bantuan program aplikasi analisis struktur.

### Daftar Pustaka

- Amon, Rene ; Knobloch, Bruce & Mazumder, Atanu. 1999. *Perencanaan Konstruksi Baja Untuk Insinyur dan Arsitek 2*. Bandung : PT. Pradinya Paramita.
- Badan Standardisasi Nasional. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung ( SNI 03-1726-2002)*.
- Badan Standardisasi Nasional. *Tata Cara Perhitungan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung ( SNI 03-1729-2002)*.
- Badan Standardisasi Nasional. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2487-2002)*.
- Blodgett, Omer W. 1996. *Design of Welded Structure*. Ohio: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation.
- Demirdjian, Sevak. "Stability of Castellated Beam Webs". *Thesis to Department of Civil Engineering and Applied Mechanics McGill University*. Montreal. 1999.
- Departemen Pekerjaan Umum. *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung. (PPIUG) 1983*.
- G. Salmon, Charles & E. Johnson, John. 1991. *Struktur Baja Desain Dan Perilaku* Jilid 1 Edisi Kedua. Diterjemahkan oleh : Ir. Wira M.S.CE. Jakarta : Erlangga.
- G. Salmon, Charles & E. Johnson, John. 1996. *Struktur Baja Desain Dan Perilaku* Jilid 2 Edisi Kedua. Diterjemahkan oleh : Ir. Wira M.S.CE. Jakarta : Erlangga.
- Liang, Qing Quan and Uy, Brian and Bradford, Mark A. and Ronagh, Hamid R. 2004. "Ultimate strength of continuous composite beams in combined bending and shear". *Journal of Constructional Steel Research*, 60 (8). pp. 1109-1128. ISSN 0143-974X.
- M. Firdaus Alkaff. 2006. "STAAD 2004 untuk Tingkat Menengah". Palembang : Maxikom.
- Rachmat Purwono, Prof, Ir, Msc. 2005. "Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa". Surabaya : ITSpress.
- Schueller, W. 1991. "Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi". Bandung : Refika Aditama.
- Suprobo, Priyo. 2000. *Desain Balok Komposit Baja-Beton*. Surabaya : ITS Press.
- Taranath, B. S. 1998. "Steel, Concrete, and Composite Design of Tall Buildings". USA : McGraw-Hill.
- Wang, C. K, & Salmon C. G. 1994. "Disain Beton Bertulang". Jakarta : Erlangga.
- Wisoso, Insan. 2010. "Modifikasi Perencanaan Gedung Sekolah Terang Bangsa Semarang Menggunakan Struktur Komposit Baja-Beton". *Makalah Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh November*. Surabaya. 2010.