

**PERENCANAAN ALTERNATIF MAIN BUILDING A HOLLAND PARK
CONDOTEL DI KOTA BATU DENGAN MENGGUNAKAN PROFIL
CASTELLATED BEAM NON KOMPOSIT**

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ARDIAN NUR HIDAYATULLAH RIFAI
NIM. 135060101111034**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

**PERENCANAAN ALTERNATIF MAIN BUILDING A HOLLAND PARK
CONDOTEL DI KOTA BATU DENGAN MENGGUNAKAN PROFIL
CASTELLATED BEAM NON KOMPOSIT**

*(Alternative Design of Main Building A Holland Park Condotel
in Batu City Using Non Composite Castellated Beam)*

Ardian Nur Hidayatullah Rifai, M. Taufik Hidayat, Christin Remayanti
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia
Email : ardiannhr10@gmail.com

ABSTRAK

Potensi Kota Batu semakin berkembang setiap tahun baik dari segi pariwisata, pertanian, perdagangan, maupun industri. Oleh karena itu pembangunan di Kota Batu menjadi pesat dengan ditandai pembangunan perumahan, apartemen, tempat – tempat pariwisata untuk mengatasi kepadatan penduduk yang meningkat serta untuk menyejahterakan masyarakat. Hampir seluruh bangunan yang ada di Kota Batu direncanakan menggunakan struktur beton bertulang termasuk gedung Main Building A Holand Park Condotel Kota Batu. Kekurangan dari struktur beton adalah bangunan/gedung memikul beban yang relatif besar karena berat sendiri beton (beban mati) yang besar. Semakin besar berat sendiri pada bangunan maka semakin besar pula beban gempa yang harus ditahan bangunan tersebut. Oleh karena itu perlu adanya perencanaan lain sebagai alternatif struktur beton, yaitu menggunakan struktur baja. Dalam analisis dan evaluasi ini akan dilihat perhitungan struktur dari profil *Castellated Beam*.

Untuk detail penampang balok menggunakan baja profil *Castellated Beam* non komposit dengan pelat beton yang dianggap beban vertikal. Sedangkan untuk detail penampang kolom menggunakan profil *Wide Flange* dengan selubung beton. Kontrol penampang pada balok dan kolom dilakukan setelah perencanaan awal dimensi. Untuk perhitungan momen nominal (M_n) pada profil WF utuh harus memenuhi syarat $\phi M_n < M_u$, setelah memenuhi syarat maka profil WF dibentuk menjadi *castellated* kemudian dikontrol terhadap momen, geser, jarak antar lubang, dan lendutan.

Kata Kunci : LRFD, Stuktur Baja, *Castellated Beam*

ABSTRACT

Batu City potential is growing every year both in terms of tourism, agriculture, trade, and industry. Therefore, the development in Batu City has become rapidly marked by the construction of housing, apartments, tourism places to overcome the increasing population and for the prosper of society. Almost all buildings in Batu City are planned to use reinforced concrete structures including Main Building building of A Holand Park Condotel Kota Batu. The disadvantage of concrete structures is that the buildings bear a relatively large load because of their selfweight (dead load). The greater the selfweight of the building, the greater the earthquake load that must be retained. Therefore it is necessary to have another plan as an alternative of concrete structure, that is using steel structure. In this analysis and evaluation we will see the structural calculation of the Castellated Beam profile.

For detail cross section of the beams is using non-composite Castellated Beam profile steels with concrete plates that are considered vertical loads. As for the detail cross section of the column is using the Wide Flange profile with a concrete casing. For the nominal moment (M_n) calculation in the solid WF profile must qualify $\phi M_n < M_u$, once qualified then the WF profile is formed to be castellated and then controlled against bending moment, shear, spacing between holes, and deflection.

Keywords : *Castellated Beam*, LRFD, Steel Structure

PENDAHULUAN

Potensi Kota Batu semakin berkembang setiap tahun baik dari segi pariwisata, pertanian, perdagangan, maupun industri. Oleh karena itu pembangunan di Kota Batu menjadi pesat dengan ditandai pembangunan perumahan, apartemen, tempat – tempat pariwisata untuk mengatasi kepadatan

penduduk yang meningkat serta untuk menyejahterakan masyarakat. Hampir seluruh bangunan yang ada di Kota Batu direncanakan menggunakan struktur beton bertulang termasuk gedung Main Building A Holand Park Condotel Kota Batu. Kekurangan dari struktur beton adalah bangunan/gedung memikul beban yang relatif besar karena berat sendiri beton (beban mati) yang besar.

Semakin besar berat sendiri pada bangunan maka semakin besar pula beban gempa yang harus ditahan bangunan tersebut. Oleh karena itu perlu adanya perencanaan lain sebagai alternatif struktur beton yaitu menggunakan struktur baja. Dalam analisis dan evaluasi ini akan dilihat perhitungan struktur dari profil *Castellated Beam*.

METODE PENELITIAN

Untuk membantu skripsi ini, perencanaan menggunakan aplikasi analisis struktur SAP 200 V18 yang bertujuan mendapatkan besarnya momen, gaya aksial, dan gaya geser. Hal ini karena perencanaan yang dilakukan dalam skripsi ini menggunakan respon spektrum dengan tanah lunak untuk menghitung gaya pada struktur akibat gaya gempa sehingga perlu menggunakan analisis struktur SAP 2000 V18.

Untuk detail penampang balok menggunakan baja profil *Castellated Beam* non komposit dengan pelat beton yang dianggap beban vertikal. Sedangkan untuk detail penampang kolom menggunakan profil *Wide Flange* dengan selubung beton.

Kontrol penampang pada balok dan kolom dilakukan setelah perencanaan awal dimensi. Untuk perhitungan momen nominal (M_n) pada profil WF utuh harus memenuhi syarat $\phi M_n < M_u$, setelah memenuhi syarat maka profil WF dibentuk menjadi *castellated* kemudian dikontrol terhadap momen, geser, jarak antar lubang, dan lendutan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Dimensi Struktur

Pada perencanaan ini dimensi balok didasarkan pada bentang balok dan besar gaya dalam yang ditahan balok tersebut, Berdasarkan Tabel Profil Konstruksi Baja Dimensi balok yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Profil WF 400x400x13x21 mm untuk balok anak
2. Profil WF 414x405x18x28 mm untuk balok induk

Sistem lantai yang digunakan adalah sistem diafragma (kaku). Tebal pelat yang digunakan pada perencanaan gedung ini adalah 12 cm untuk pelat lantai dan 10 cm untuk pelat atap.

Pembebanan Balok dan Plat

Pembebanan pelat tidak menggunakan metode envelope. Beban pelat lantai dan pelat atap diinputkan ke SAP, untuk pembebanan balok induk diinputkan berat dinding (bata) dengan tinggi 5 meter.

- a. Pembebanan pelat atap
 - Beban Air = 100 kg/m^2
 - Beban mati pelat lantai
 - berat sendiri = $0.12 \cdot 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$
 - berat spesi = $3 \cdot 21 = 63 \text{ kg/m}^2$
 - berat keramik = $1 \cdot 24 = 24 \text{ kg/m}^2$

plafond	= 11	= 11 kg/m ²
beart instalasi	= 25	= 25 kg/m ²
total berat	= 123	= 123 kg/m ²

b. Pembebanan pelat lantai (tipikal lantai 1 & 2)

- Beban mati pelat lantai		
berat sendiri	= $0.12 \cdot 2400$	= 288 kg/m ²
berat spesi	= $3 \cdot 21$	= 63 kg/m ²
berat keramik	= $1 \cdot 24$	= 24 kg/m ²
plafond	= 11	= 11 kg/m ²
beart instalasi	= 25	= 25 kg/m ²
total berat	= 123	= 123 kg/m ²

- Beban hidup pelat lantai (beban guna)
 - Diambil beban hidup dari komponen beban hidup yang ada dalam gedung ini yaitu 250 kg/m² dan 400 kg/m² untuk ruang rapat

c. Pembebanan Balok

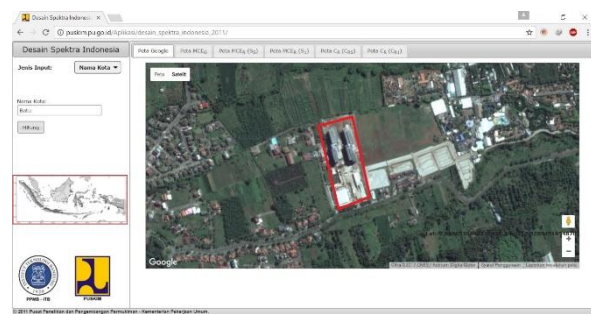
- Beban dinding = $250 \cdot 5 = 1250 \text{ kg/m}$

Analisis Beban Gempa

Pada perhitungan beban gempa Main Building A Holland Park Condotel Kota Batu, perhitungan spektrum repons desain Menggunakan program yang telah disediakan PU:

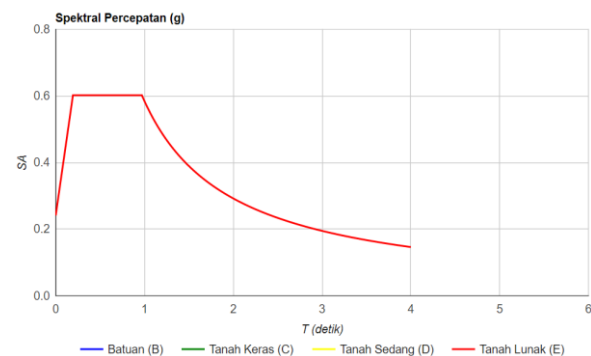
<http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra indonesia 2011/>.

Untuk mendapatkan data respons spektrum memasukan data koordinat lokasi ataupun nama kota yang ditinjau, seperti berikut:



Gambar 1 Peta lokasi Main Building A Holland Park Condotel Kota Batu

Data yang di peroleh berdasarkan program yang telah disediakan PU adalah data berupa respons spectrum design yang ada pada daerah kota Batu.



Gambar 2 Respons spektrum desain

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 balok berdasarkan SNI 1726:2012. Contoh perhitungan dilakukan menggunakan profil WF 414x405x18x28 mm. Cek kelangsingan penampang.

Tabel 1 Rekapitulasi Momen dan Geser Balok Induk

Momen Maksimum	Geser Maksimum
154801,21 kgm	84305,35 kg

Profil WF 414x405x18x28

Mutu baja BJ 50, $f_y = 290 \text{ Mpa} = 2900 \text{ kg/cm}^2$

$$d = 414 \text{ mm}$$

$$bf = 405 \text{ mm}$$

$$tw = 18 \text{ mm}$$

$$tf = 28 \text{ mm}$$

$$I_x = 92800 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = b \cdot tf (d - tf) + \frac{1}{4} tw (d - 2tf)^2 = 4953,978$$

cm^3

$$S_x = 4480 \text{ cm}^3$$

$$\phi = 60^\circ$$

$$r = 22 \text{ mm}$$

$$h = d - 2 (tf + r) = 314 \text{ mm}$$

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

- Kontrol Penampang

Pelat sayap:

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{290}} = 9,98$$

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{3405}{2 \cdot 28} = 7,23$$

$$\lambda < \lambda_p \quad (\text{Maka sayap kompak})$$

Pelat badan:

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{290}} = 98,65$$

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{314}{18} = 17,4$$

$$\lambda < \lambda_p \quad (\text{Maka badan kompak})$$

Karena penampang kompak, maka:

$$M_n = M_p$$

$$M_p = F_y \times Z_x = 2900 \times 4953,978 = 14366536,2 \text{ kgcm}$$

$$M_p = 1,5 \times M_y = 1,5 \times F_y \times S_x = 1,5 \times 2900 \times 4480 = 19488000$$

(Diambil M_p terkecil maka $M_n = 14366536,2$)

$$\phi M_n = 0,9 \times 14366536,2 = 12929882,58 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n (12929882,58 \text{ kgcm}) \leq \mu (15480121 \text{ kgcm})$$

- Perhitungan dimensi profil castellated beam

$$h = d (K_1 - 1) = 414 (1,5 - 1) = 207 \text{ mm}$$

$$d_g = d + h = 414 + 207 = 621 \text{ mm}$$

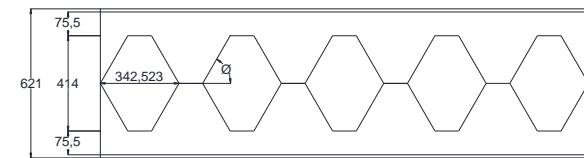
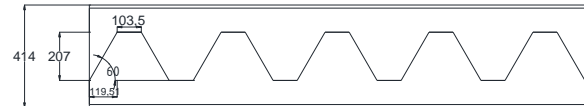
$$b = \frac{h}{\tan \phi} = \frac{207}{1,73} = 119,512 \text{ mm}$$

$$d_T = \frac{d_g - 2tf}{2} - h = \frac{621 - 2 \times 28}{2} - 207 = 75,5 \text{ mm}$$

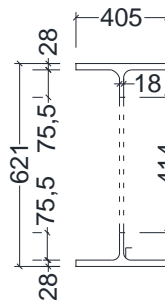
$$h_o = 2h = 414 \text{ mm}$$

$$e = 0,25 \times h_o = 103,5 \text{ mm}$$

$$a_o = 2b + e = 342,523 \text{ mm}$$



Gambar 3 Potongan Memanjang Castellated Beam



Gambar 4 Potongan melintang Castellated Beam

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

$$d_g = 621 \text{ mm}$$

$$bf = 405 \text{ mm}$$

$$r = 22 \text{ mm}$$

$$h_o = 414 \text{ mm}$$

$$a_o = 342,523 \text{ mm}$$

$$t_w = 18 \text{ mm}$$

$$t_f = 28 \text{ mm}$$

$$h = d_g - 2 (t_f + r) = 521 \text{ mm}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$J = 6677424 \text{ mm}^4$$

- Mencari I_x dan Z_x pada Profil Castellated Beam Pada bagian tanpa lubang

$$I_x = \left(\frac{1}{12} \times b \times d_g^3 \right) - \left(2 \times \left(\frac{1}{12} \times ((b - t_w)/2) \times (d_g - 2t_f)^3 \right) \right)$$

$$= 8082553309 - 5816678531$$

$$= 2265874778 \text{ mm}^4$$

$$= 226587,4778 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = ((tw \times dg^2)/4) - (bf-tw)(dg-tf) \times tf$$

$$= 1735384,5 + 6425748$$

$$= 8161132,5 \text{ mm}^3$$

$$= 8161,1325 \text{ cm}^3$$

Pada bagian berlubang

$$I_x = (1/12 \times b \times dg^3) - (2 \times 1/12 \times ((b-tw)/2))$$

$$(dg-2tf)^3 - (1/12 \times tw \times (dg-2tf-2h)^3)$$

$$= 8082553309 - 5816678531$$

$$- (-162796999,5)$$

$$= 2103077778 \text{ mm}^4$$

$$= 210307,7778 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = (1/4 \times b \times dg^2) - (2 \times 1/4 \times ((b-tw)/2))$$

$$(dg-2tf)^2 \times (1/4 \times tw \times ho^2)$$

$$= 39046151,25 - 30885018,75 - 771282$$

$$= 7389850,5 \text{ mm}^3$$

$$= 7389,8505 \text{ mm}^3$$

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

$$I_x = (I_x \text{ tanpa lubang} + I_x \text{ berlubang})/2$$

$$I_x = (226587,4778 + 210307,7778)/2$$

$$I_x = 218447,6278 \text{ cm}^4$$

- Kontrol penampang

Pelat badan (ketika berlubang)

$$\lambda = \frac{dT}{tw} = \frac{75,5}{18} = 4,19$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{fy}} = \frac{170}{\sqrt{290}} = 9,98$$

$$\lambda_R = \frac{370}{\sqrt{fy - fR}} = \frac{370}{\sqrt{290 - 70}} = 24,94$$

$\lambda < \lambda_p < \lambda_R$ maka, Penampang Kompak

Karena penampang kompak, maka:

$$M_n = M_p$$

$$M_p = F_y \times Z_x$$

$$= 2900 \times 8161,1325$$

$$= 23667284,25 \text{ kgcm}$$

$$M_p = 1,5 \times M_y$$

$$= 1,5 \times (F_y \times S_x)$$

$$= 1,5 \times 2900 \times 7035,35$$

$$= 30603773,94 \text{ kgcm}$$

(Dipilih M_p terkecil, maka diambil $M_p = 23667284,25$)

$$\Delta A_s = h_o \times tw$$

$$= 414 \times 1,8$$

$$= 74,52 \text{ cm}^2$$

Momen Lentur Nominal (berdasarkan ASCE journal page3327)

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

$$= 23667284,25 - 216108 \times 20,7$$

$$= 19193848,65 \text{ kgcm}$$

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

$$= 0,9 \times 19193848,65$$

$$= 17274463,79 \text{ kgcm}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$17274463,79 \geq 15480121 \text{ kgcm (OK)}$$

- Kontrol kuat geser :

$$- \frac{d-2tf}{tw} = \frac{565}{18} = 31,39$$

$$- \frac{1365}{\sqrt{fy}} = \frac{1365}{\sqrt{290}} = 80,15$$

$$- \frac{1100}{\sqrt{fy}} = \frac{1100}{\sqrt{290}} = 64,59$$

Kontrol tekuk badan (berdasarkan ASCE journal page 3319)

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

$$31,39 \leq 80,15 \dots \text{ (OK)}$$

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

$$31,39 \leq 64,59 \dots \text{ (OK)}$$

$$a_o = 342,52 \text{ mm}$$

$$h_o = 414 \text{ mm}$$

$$\frac{a_o}{h_o} = \frac{342,52}{414} = 0,83 \leq 3,0 \text{ (OK)}$$

$$V_p = f_y \times tw \times \frac{d}{\sqrt{3}}$$

$$= 2900 \times 1,8 \times 4,36$$

$$= 22753,95146 \text{ kg}$$

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

$$= \frac{342,52}{414} + \frac{2482}{621}$$

$$= 0,83 + 4$$

$$= 4,83 \leq 5,6 \dots \text{ (OK)}$$

(Nilai 5,6 adalah untuk baja non komposit)

Untuk tee atas dan bawah :

$$V_{pt} = \frac{f_y \times tw \times dt}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{2900 \times 1,8 \times 75,5}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{394110}{1,73}$$

$$= 227539,5146 \text{ kg}$$

$$\mu = 0$$

$$v = \frac{a_o}{dt} = \frac{342,52}{75,5} = 4,53$$

$$\frac{\sqrt{6} + \mu}{v + \sqrt{3}} = 0,39 \leq 1 \text{ (OK)}$$

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

$$= 0,39 \times 227539,5146$$

$$= 88909,7651 \text{ kg}$$

$$V_{nt} \leq V_{pt} \rightarrow 88909,7651 \text{ kg} \leq 227539,5146 \text{ kg}$$

$$V_n = \sum V_{nt} = 2 \times V_{nt}$$

$$= 2 \times 88909,7651$$

$$= 177819,5302 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times V_n$$

$$= 0,9 \times 177819,5302$$

$$= 160037,5772 \text{ kg}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$160037,5772 \text{ kg} \geq 84305,35 \text{ kg (OK)}$$

- Persamaan interaksi

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

$$\left(\frac{15480121}{17274463,79} \right)^3 + \left(\frac{84305,35}{160037,5772} \right)^3 \leq 1,0$$

$$0,719 + 0,146 \leq 1,0$$

$$0,865 \leq 1,0 \dots \text{ (OK)}$$

- Kontrol jarak antar lubang

$$S = 2 (b + e) = 2 (119,51 + 103,5) = 446,02 \text{ mm}$$

$$S \geq h_o = 446,02 \geq 414 \dots \text{ (OK)}$$

$$S \geq a_0 \left(\frac{0,434}{1-0,434} \right)$$

$$446,02 \geq 34,252 \times 0,76$$

$$32,77 \geq 26,32 \dots \text{ (OK)}$$

- Kontrol lendutan

$$f \text{ ijin} = \frac{L}{360} = \frac{1500}{360} = 3,167 \text{ cm}$$

Lendutan maksimum yang didapat dalam perhitungan

SAP 2000 untuk balok induk adalah 0,0072379 m =

7,23 mm

$$f \leq f \text{ ijin}$$

$$7,23 \leq 31,67 \text{ mm}$$

Jadi profil Castellated Beam untuk balok induk yang dipakai 414x405x18x28 mm.

Perencanaan Kolom

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan program aplikasi analisis struktur, maka diperoleh gaya-gaya dalam. Pada perencanaan kolom ini, digunakan momen dan gaya normal (aksial). Selanjutnya dilakukan analisis pada kolom berdasarkan SNI 03-1729-2002.

Data-data profil 406x403x16x24 mm:

$$b_f = 403 \text{ mm}$$

$$f_y = 290 \text{ Mpa}$$

$$d = 406 \text{ mm}$$

$$f_u = 500 \text{ Mpa}$$

$$h = 314 \text{ mm}$$

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

$$t_f = 24 \text{ mm}$$

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

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

$$A_s = 25490 \text{ mm}^2$$

$$r_x = 175 \text{ mm}$$

$$S_x = 3840000 \text{ cm}^3$$

$$r_y = 101 \text{ mm}$$

$$S_y = 1300000 \text{ mm}^4$$

$$I_x = 780000000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 262000000 \text{ mm}^4$$

$$C_w = 9558022000000 \text{ mm}^6$$

$$J = 4202837,333 \text{ mm}^4$$

$$Z_x = 4207360 \text{ mm}^3$$

- Kontrol penampang

Periksa kelangsingan penampang

Flens

$$\frac{b/2}{t_f} = \frac{403/2}{24} = 8,39$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{290}} = 14,68$$

$$\frac{b/2}{t_f} < \lambda_r \text{ (Maka sayap kompak)}$$

Web

$$\frac{h}{t_w} = \frac{314}{16} = 19,625$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{290}} = 39,05$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_r \text{ (Maka badan kompak)}$$

Faktor panjang efektif

$G_A = 1$ (jepit)

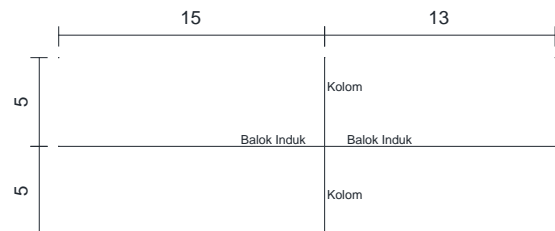
Momen inersia kolom 406x403x16x24 mm

$$I_x = 780000000 \text{ mm}^4$$

Momen inersia *castellated beam* profil 621x405x18x28 mm

$$I_x = 2184476278 \text{ mm}^4$$

Faktor panjang efektif k



Gambar 5 Struktur portal yang ditinjau

$$G_B = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_{\text{kolom}}}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_{\text{balok}}} = \frac{(780000000/5000) \times 2}{(2184476278/15000) + (2184476278/13000)}$$

$$G_B = 7,55$$

- Akibat portal tak bergoyang

- Aksi kolom

$$k_c = 0,77 \text{ (dari nomogram diagram)}$$

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

$$\lambda_c = \frac{0,77 \cdot 5000}{175 \cdot \pi} \sqrt{\frac{290}{200000}}$$

$$\lambda_c = 0,27$$

Karena $0,25 < \lambda_c = 0,27 < 1,2$, (kolom menengah inelastic) maka

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,77 \cdot \lambda_c)}$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,77 \cdot 0,27)}$$

$$\omega = 1,006$$

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

$$f_{cr} = 288,229 \text{ Mpa}$$

Kuat rencana nominal

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

$$N_n = 25490 \cdot 288,229$$

$$N_n = 734695,111 \text{ kg}$$

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

$$373310,96 \leq 0,85 \cdot 734695,11$$

$$373310,96 \text{ kg} \leq 624490,8444 \text{ kg OK}$$

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = \frac{373310,96}{624490,8444} = 0,59 > 0,2 \text{ Maka menggunakan}$$

$$\text{persamaan } \frac{N_u}{\phi_c N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

- Aksi balok

Cek kelangsingan penampang profil

Pelat badan (*web*)

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

$$\lambda = 19,625$$

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

$$\lambda_p = 50,86$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$19,625 < 50,86 \text{ (Maka penampang kompak)}$$

Kontrol tekuk lateral :

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

$$L_p = 4703,20 \text{ mm}$$

$$f_L = f_y - f_r$$

$$f_L = 220$$

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

$$X_1 = 23950,79041 \text{ MPa}$$

$$X_2 = \frac{4 \cdot C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G \cdot J} \right)^2$$

$$X_2 = 1,90337 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^4/N^2$$

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

$$L_r = 17049,27 \text{ mm}$$

Karena $L > L_p$ dan penampang kompak maka

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

Untuk M_{nx} (arah sumbu X)

$$M_{px} = Z_x \cdot f_y$$

$$M_{px} = 4207360 \cdot 290$$

$$M_{px} = 1220134400 \text{ Nmm}$$

$$M_{px} = 1220134,4 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M_r &= S_x (f_y - f_r) \\ &= 3840000 \cdot (290 - 70) \\ &= 844800000 \text{ Nmm} \\ &= 844800 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_{max} = 10016,63 \text{ kgm}$$

$$M_A = 6766,34 \text{ kgm}$$

$$M_B = 3516,06 \text{ kgm}$$

$$M_C = 265,77 \text{ kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \leq 2,3$$

$$C_b (= 2,08) \leq 2,3 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_b \cdot \left[M_r + (M_{px} - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right] \\ &\leq M_{px} \end{aligned}$$

$$M_n = 2,08 \cdot \left[844800 + (1220134,4 - 844800) \frac{17,05 - 5}{17,05 - 4,7} \right] \leq M_{px}$$

$$M_n (= 251911,186 \text{ kgm}) \leq M_{px} (= 1220134,4 \text{ kgm})$$

$$\phi M_{nx} = 0,9 \times M_{nx}$$

$$= 0,9 \times 251911,186$$

$$= 226720,07 \text{ kgm}$$

Untuk M_{ny}

$$M_{py} = Z_y \cdot f_y$$

$$M_{py} = 2315500 \cdot 290$$

$$M_{py} = 671495000 \text{ Nmm}$$

$$M_{py} = 671495 \text{ kgm}$$

$$M_r = S_y (f_y - f_r)$$

$$= 286000 \text{ kgm}$$

$$M_{max} = 14083,8 \text{ kgm}$$

$$M_A = 8768,38 \text{ kgm}$$

$$M_B = 3452,96 \text{ kgm}$$

$$M_C = 1862,46 \text{ kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \leq 2,3$$

$$C_b (= 2,18) \leq 2,3 \text{ (OK)}$$

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

$$M_n = 2,18 \cdot \left[286000 + (671495 - 286000) \frac{17,05 - 5}{17,05 - 4,7} \right] \leq M_{py}$$

$$M_n (= 144083,536 \text{ kgm}) \leq M_{py} \text{ (OK)}$$

$$\phi M_{ny} = 0,9 \times M_{ny}$$

$$= 0,9 \times 144083,536$$

$$= 129675,18 \text{ kgm}$$

Menentukan perbesaran momen δ_b M_{ux} :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 2984,51 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 10016,63 \text{ kgm}$$

$$\frac{k_c \cdot L}{r_x} = \frac{0,77 \cdot 5000}{175}$$

$$\frac{k_c \cdot L}{r_x} = 22,00$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

$$C_m = 0,48$$

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

$$N_{el} = 3304705,684 \text{ kg}$$

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

$$\delta_b = 0,54 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)}$$

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

$$= 1 \cdot 10016,63 = 10016,63 \text{ kgm}$$

Menentukan perbesaran momen δ_b M_{uy} :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 7177,88 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 14083,8 \text{ kgm}$$

$$\frac{k_c \cdot L}{r_y} = \frac{0,77 \cdot 5000}{101}$$

$$\frac{k_c \cdot L}{r_y} = 37,97$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2}\right)$$

$$C_m = 0,396$$

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

$$N_{el} = 1110042,166 \text{ kg}$$

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

$$\delta_b = 0,596 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)}$$

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

$$= 1 \cdot 14083,8 = 14083,8 \text{ kgm}$$

Kontrol kuat tekan lentur :

$$\frac{N_u}{\phi_c N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

$$\frac{373310,96}{624490,8444} + \frac{8}{9} \left(\frac{10016,63}{226720,07} + \frac{14083,8}{129675,1824} \right) \leq 1,0$$

$$0,733 \leq 1,0$$

- Akibat portal bergoyang

- Aksi kolom

$$k_c = 1,3 \text{ (dari nomogram diagram)}$$

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

$$\lambda_c = \frac{1,3 \cdot 5000}{175 \cdot \pi} \sqrt{\frac{290}{200000}}$$

$$\lambda_c = 0,45$$

Kuat rencana nominal

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

$$N_n = 25490 \cdot 263,28$$

$$N_n = 671099,9286 \text{ kg}$$

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

$$373310,96 \leq 0,85 \cdot 671099,9286$$

$$373310,96 \text{ kg} \leq 570434,9393 \text{ kg OK}$$

Karena $0,25 < \lambda_c = 0,252 < 1,2$, maka:

$$\omega = \frac{1,4}{1,6 - (0,67 \cdot \lambda_c)}$$

$$\omega = 1,101$$

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

$$f_{cr} = 263,28 \text{ Mpa}$$

$$\frac{N_u}{\phi_c N_n} = \frac{373310,96}{624490,8444} = 0,65 > 0,2 \text{ Maka menggunakan}$$

$$\text{persamaan } \frac{N_u}{\phi_c N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

- Aksi balok

Cek kelangsingan penampang profil

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

$$\lambda = 19,625$$

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

$$\lambda_p = 49,20 > 39,05$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$19,625 < 49,2 \text{ (Maka penampang kompak)}$$

Kontrol tekuk lateral :

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

$$L_p = 4703,20 \text{ mm}$$

$$f_l = f_y - f_r$$

$$f_l = 220$$

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

$$X_1 = 23938,65 \text{ MPa}$$

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

$$X_2 = 1,90337 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^4/N^2$$

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

$$L_r = 17040,63 \text{ mm}$$

Karena $L > L_p$ dan penampang kompak maka

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

Untuk M_{nx}

$$M_{px} = Z_x \cdot f_y$$

$$M_{px} = 4207360 \cdot 290$$

$$M_{px} = 1220134400 \text{ Nmm}$$

$$M_{px} = 1220134,4 \text{ kgm}$$

$$M_r = S_x (f_y - f_r)$$

$$= 3840000 \cdot (290 - 70)$$

$$= 844800000 \text{ Nmm}$$

$$= 844800 \text{ kgm}$$

$$M_{max} = 61604,83 \text{ kgm}$$

$$M_A = 38853,18 \text{ kgm}$$

$$M_B = 16142,94 \text{ kgm}$$

$$M_C = 18350,3 \text{ kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \leq 2,3$$

$$C_b (= 1,97) \leq 2,3 \text{ (OK)}$$

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

$$M_n = 1,97 \cdot \left[844800 + (1220134,4$$

$$- 844800) \frac{17,05 - 5}{17,05 - 4,7} \right] \leq M_{px}$$

$$M_n (=238588,96 \text{ kgm}) \leq M_{px}$$

$$\begin{aligned} \emptyset M_{nx} &= 0,9 \times M_{px} \\ &= 0,9 \times 238588,96 \\ &= 238588,96 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Untuk Mny

$$M_{py} = Z_y \cdot f_y$$

$$M_{py} = 2315500,290$$

$$M_{py} = 671495000 \text{ Nmm}$$

$$M_{py} = 671495 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M_r &= S_x(f_y - f_r) \\ &= 1300000 \cdot (290 - 70) \\ &= 286000000 \text{ Nmm} \\ &= 286000 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_{max} = 67796,78 \text{ kgm}$$

$$M_A = 34077,48 \text{ kgm}$$

$$M_B = 365,38 \text{ kgm}$$

$$M_C = 18051,96 \text{ kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \leq 2,3$$

$$C_b (= 2,23) \leq 2,3 \text{ (OK)}$$

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

$$M_n = 2,23 \cdot \left[286000 + (671495 - 286000) \frac{17,05 - 5}{17,05 - 4,7} \right] \leq M_{py}$$

$$M_n (=147676,802 \text{ kgm}) \leq M_{py} \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} \emptyset M_{ny} &= 0,9 \times M_{ny} \\ &= 0,9 \times 147676,802 \\ &= 132909,12 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Menentukan perbesaran momen δ_b Mux :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 61604,83 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 46599,44 \text{ kgm}$$

$$k_c \cdot L = 1,3 \cdot 5000$$

$$\frac{k_c \cdot L}{r_x} = \frac{1,3 \cdot 5000}{175}$$

$$\frac{k_c \cdot L}{r_x} = 37,16$$

$$\sum N_u = 4912734,77 \text{ kg}$$

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

$$N_{el} = 1159384,615 \text{ kg}$$

$$\sum N_{el} = 30 \times 1159384,615 = 34781538,46 \text{ kg}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum N_u}{\sum N_{el}}}$$

$$\delta_s = 1,16 \geq 1 \text{ (maka diambil 1,16)}$$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= \delta_s \cdot M_{u \text{ maks}} \\ &= 1,16 \cdot 61604,83 \\ &= 71737,41 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Menentukan perbesaran momen δ_b Muy :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 67796,78 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 42482,27 \text{ kgm}$$

$$k_c \cdot L = 1,3 \cdot 5000$$

$$\frac{k_c \cdot L}{r_y} = \frac{1,3 \cdot 5000}{101}$$

$$\frac{k_c \cdot L}{r_y} = 64,11$$

$$\sum N_u = 4912734,77 \text{ kg}$$

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

$$N_{el} = 389434,3195 \text{ kg}$$

$$\sum N_{el} = 30 \times 389434,3195 = 11683029,59 \text{ kg}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum N_u}{\sum N_{el}}}$$

$$\delta_s = 1,72 \geq 1 \text{ (maka diambil 1,72)}$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= \delta_s \cdot M_{u \text{ maks}} \\ &= 1,72 \cdot 67796,78 \\ &= 116992,215 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Periksa persamaan

$$\begin{aligned} M_{ux} &= \delta_b \cdot M_{ntux} + \delta_s \cdot M_{ltux} \\ &= 71737,41 \text{ kgm} + 10016,63 \text{ kgm} \\ &= 81754,04 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= \delta_b \cdot M_{ntuy} + \delta_s \cdot M_{ltuy} \\ &= 116992,215 \text{ kgm} + 14083,8 \text{ kgm} \\ &= 131076,015 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Kontrol kuat tekan lentur :

$$\begin{aligned} \frac{N_u}{\phi_c M_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) &\leq 1,0 \\ \frac{373310,96}{624490,84} + \frac{8}{9} \left(\frac{81754,04}{1098120,96} + \frac{131076,015}{604345,5} \right) &\leq 1,0 \\ 0,85 &\leq 1,0 \end{aligned}$$

KESIMPULAN

Perencanaan Alternatif Main Building A Holland Park Condotel Kota Batu Menggunakan Profil Castellated Beam non Komposit adalah :

- Pertama dilakukan perhitungan kontrol terhadap profil Wide Flange utuh dengan syarat $\Phi M_n \leq M_u$. Karena pada profil WF utuh $\Phi M_n \leq M_u$ maka diharapkan dengan dibentuk menjadi castellated maka kapasitas momen tahanan bertambah sehingga memenuhi syarat perhitungan momen $\Phi M_n \geq M_u$ dan perhitungan geser $\Phi V_n \geq V_u$.
- Dari Perencanaan ini maka struktur rangka yang menggunakan profil Castellated Beam pada balok gedung ini dapat dijadikan desain alternatif dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 5.1 Hasil perhitungan dimensi balok Castellated Beam.

Balok	Dimensi	Momen (kgcm)	Geser (kg)
B.Induk	621x405x18x28 mm	21300555,83	160037,5772
B.Anak	600x400x13x21 mm	15335141,13	128040,8949

SARAN

Berdasarkan hasil perencanaan yang telah dilakukan diharapkan :

- Meskipun dalam pengerjaan skripsi ini menggunakan aplikasi struktur SAP 2000 V18 yang mampu menghasilkan gaya – gaya dalam

- secara langsung akibat pembebanan, tetapi harus tetap memperhatikan peraturan manual yang berlaku seperti Standart Nasional Indonesia (SNI) agar hasil yang diperoleh dapat dipertanggung jawabkan serta diperoleh hasil yang lebih efektif dan efisien.
2. Input data harus dilakukan secara teliti, karena akan berakibat fatal jika salah memasukkan input data. Serta pemilihan profil WF menjadi profil Castellated Beam harus diperhatikan agar mendapatkan dimensi balok kolom yang hemat dan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction. 1999. "Load and Resistance Factor Design Specification", Chicago, Illinois
- American Society of Civil Engineers. 1999. "Specification for Structural Steel Beams With Web Openings"
- Blodgett, Omer W. 1996. "Design of Welded Structures". U.S.A: The James Lincoln Arc Welding Foundation
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. "Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPUIG) 1983". Tentang Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung Menggunakan LRFD. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Grünbauer, Johann. "What makes castellated beams so desirable as a constructional element?" <http://www.grunbauer.nl/eng/inhoud.htm> (diakses tanggal 1 Maret 2017)
- Journal of Structural Engineering. 1992. "Proposed Specification for Structural Steel Beams with Web Openings", ASCE. Volume: 118; Issue Number :12
- Knowles, P.R. Castellated beams. Proc. Institution of Civil Engineers, Part 1, Vol. 90, pp 521-536. 1991
- L. Amayreh and M.P Saka. 2005. "Failure load prediction of castellated beams using artificial neural networks", Department of Civil Engineering, University of Bahrain
- Standar Nasional Indonesia 1726 – 2012 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
- Standar Nasional Indonesia 03 – 1729 – 2002 Tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung
- Setiawan, Agus., 2008. "Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Sesuai dengan SNI 03 – 1729 – 2002). Semarang: Erlangga