

ANALISA PERENCANAAN PENINGKATAN BALOK BAJA PROFIL WF (*WIDE FLANGE*) DAN BALOK CASTELLA BERTUMPUAN SEDERHANA

Muh. Akbar Busman¹, Moh. Junaedy Rachman², Muh. Idhil Maming³

Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik,

Universitas Negeri Makassar

E-mail: muh.akbarbusman@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah Mendesain balok baja WF Konvensional yang memiliki kapasitas sesuai dengan beban ultimit perencanaan ($M_u \leq \phi M_n$), Mendesain balok Castella peningkatan dari hasil balok Konvensional ($\phi M_{n\text{Konvensional}} \leq \phi M_{n\text{Castella}}$) dan Mengevaluasi perilaku lendutan balok Castella terhadap, pembebanan tahap demi tahap menggunakan program CSI SAP2000. Metodologi yang digunakan adalah studi pustaka dan kegiatan analisis dibantu dengan menggunakan program SAP2000. Sehingga dihasilkan perhitungan struktur dan gambar perencanaan. Dari hasil penelitian diperoleh profil I balok Konvensional WF (*Wide Flange*) dengan Bertumpuan Sederhana didapat hasil ($M_u = 250\text{ton Nmm} \leq M_n = 317,\text{ton}$), perhitungan analisa dengan Bertumpuan Sederhana yang sama didapat hasil peningkatan balok Castella ($\phi M_{n\text{Konvensional}} = 317,079\text{yon} \leq \phi M_{n\text{Castella}} = 5249,272\text{ton}$) sebesar 65,55% dan hasil analisis SAP2000 menunjukkan pemodelan struktur *Vierendeel* baja Castella akibat terbentuknya sendi plastis baru selama pengujian mengalami siklus pembebanan sebanyak 10 tahapan dan beban sebesar 343,307ton. Dari data diagram beban lendutan dapat diketahui bahwa nilai displacement leleh Struktur Elemen Shell yang dianalisa secara non linear mengalami lendutan saling mendekati $0,180269\text{m} \leq 0,226656\text{m}$.

Kata Kunci: Profil Baja WF Konvensional, Castella, Lendutan, Balok Bertumpuan Sederhana.

PENDAHULUAN

Kemajuan dunia konstruksi salah satunya adalah Castella. *Castellead open web expanded beams and girders* (perluasan balok dan girder dengan badan berlubang) adalah balok yang memiliki elemen pelat badan berlubang, yang dibentuk dengan mengikuti pola/alur balok sesuai lubang yang akan dibentuk. Kemudian bagian bawah dan atas dari belahan tersebut disatukan kembali dengan las dengan cara menggeser sampai terbentuk lubang yang diharapkan. Gagasan semacam ini pertama kali

dikemukakan oleh *H. E. Horton* dari Chicago dan *Iron Work* sekitar tahun 1910, yang sekarang ini dikenal dengan metode Castella.

Dalam mendesain struktur baja, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu Kekuatan (*Strength*) dapat diartikan sebagai ketahanan dari struktur bahan yang digunakan terhadap beban yang dipikul, Kekakuan (*Stiffness*) adalah deformasi akibat gaya lateral yang perlu dihitung dan dikontrol untuk mengetahui modulus elastisitas bahan, Daktilitas (*Ductility*) merupakan

kemampuan struktur mengalami simpangan secara pasca elastis yang terjadinya kelelahan pertama sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan.

Balok Castella masih tergolong kurang digunakan untuk konstruksi terutama di daerah luar Jawa karena kebanyakan terkendala pada sumber daya peralatan dan tenaga ahli untuk proses pembentukan di workshop atau bengkel pabrikan baja. Oleh karena itu, untuk menyediakan elemen baja Castella akan membutuhkan biaya yang lebih mahal mulai dari proses pengadaan, pengiriman, sampai pada pembuatan di workshop. Penelitian ini dibuat dalam rangka upaya mendalami perhitungan perencanaan, analisis dan perilaku balok Castella khususnya sebagai model balok bertumpuan sederhana.

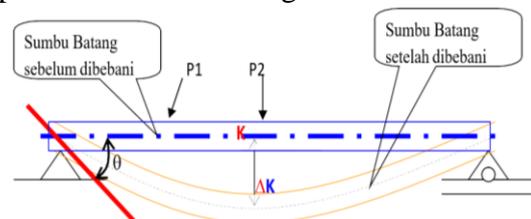
Perumusan masalah dilakukan untuk mengembangkan dengan jelas mengenai masalah yang akan diamati. Masalah yang peneliti kaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: 1) Bagaimana Mendesain kriteria balok baja WF Konvensional yang memiliki kapasitas sesuai dengan beban ultimit perencanaan ($M_u \leq \phi M_n$)? 2) Bagaimana mendesain balok Castella dengan cara meningkatkan modulus penampang dan momen inersia dari balok Konvensional ($\phi M_n_{Konvensional} \leq \phi M_n_{Castella}$)? 3) lendutan balok Castella terhadap, pembebanan tahap demi tahap menggunakan program CSI SAP2000 pada balok Bertumpuan Sederhana??

Untuk mempertajam penelitian, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut: 1) Profil Balok baja WF (*Wide Flange*) 300. 300. 10. 15. 18.; 2) Bentuk bukaan hexagonal 109. 150. 150. 45°. 3) Mutu Baja BJ 41; 4) Kapasitas balok yang direncanakan kapasitas lentur 5) Perhitungan analisa struktur dibantu dengan CSI SAP2000 6) Pembebanan yang diberikan berupa beban sederhana 7) Analisis desain perencanaan menggunakan Elemen *Shell* dan struktur *Vierendeel*.

TINJAUAN PUSTAKA

Konstruksi Balok Sederhana

Konstruksi balok sederhana adalah konstruksi yang ditumpu pada dua titik tumpuan atau perletakan berupa sendi dan rol. Jenis konstruksi ini adalah statis tertentu, yang dapat diselesaikan dengan persamaan keseimbangan.



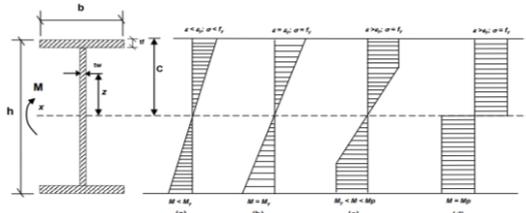
Gambar 1. Ilustrasi Putaran Lendutan

Metode Komputasi

Metode komputasi untuk analisa struktur dengan metode kekakuan. Menurut Ghali dan Neville (1977) dengan metode ini, struktur yang besar bisa dikomputasi secara otomatis. Untuk itu, memerlukan teknik perakitan matriks kekakuan batang dan penerapan kondisi perpindahan tanpa mengubah tata letak matriks, dan keterpaduan jalur matriks. Teknik tersebut ditujukan bagi struktur portal bidang, tetapi dapat diterapkan juga pada portal ruang, balok silang dan masalah kontinum yang di analisa dengan metode elemen berhingga. Bila analisa dilakukan dengan komputer, beban runtuh yang diperoleh dengan melacak keadaan pembebanan portal, dan dengan melakukan analisa elastis pada portal yang dimodifikasi akibat terbentuknya sendi plastis baru yang disebabkan penambahan beban (Ghali dan Neville, 1977).

Lentur Balok Baja Konvensional

Distribusi tegangan pada sebuah penampang WF akibat momen lentur diperlihatkan pada Gambar 2 Penampang elemen balok diasumsikan akan berbeda secara linear, pada sumbu netral penampang nilainya nol dan pada serat terluar penampang bernilai maksimum. Tegangan yang terjadi dapat berupa tegangan tekan pada serat bagian atas dan tegangan tarik bagian bawah.



Gambar 2. Distribusi Tegangan Lentur
(Sumber: Ramin, M., 2015)

Dalam kondisi elastis, tegangan lentur ada pada setiap titik penampang sepanjang elemen dapat diketahui dengan persamaan:

$$F = M \cdot Y / I \quad (1)$$

dimana :

- F : tegangan lentur
- I : momen inersia
- M : momen lentur
- Y : jarak antara sumbu netral terhadap titik yang ditinjau

Hubungan antara momen lentur dan tegangannya:

$$F_y = M / S \quad (2)$$

dimana:

- F_y : tegangan leleh pada serat ditinjau
- S : modulus elastis penampang
- M : momen lentur

Hubungan momen lentur dan tegangan penampang kondisi plastis persamaan:

$$F_y = M / Z \quad (3)$$

dimana:

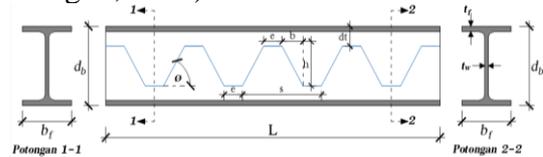
- Z : modulus plastis penampang

Analisis Balok Castella

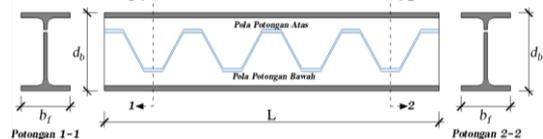
Balok Castella adalah balok yang terbentuk dengan cara pemotongan balok WF (*Wide Flange*) secara berliku dengan membentuk sudut tertentu. Tujuan dari “*Castella Beam*” adalah mengurangi berat dan mempertinggi profil, pada prinsipnya adalah memperbesar modulus penampang (S) dan momen inersia (I) suatu profil sehingga akhirnya akan menghasilkan kekuatan dan kekakuan yang lebih besar dibandingkan profil aslinya (Amayreh & Saka 2005).

Pola pemotongan balok dan bentuk geometrik hasil pemotongan badan akan membantu menentukan nilai dari bagian yang akan dipotong dan menentukan juga

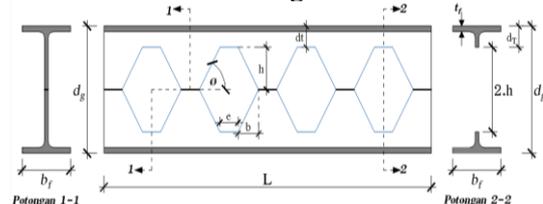
besaran pada balok yang akan dipakai dalam perhitungan kekuatan balok terlihat pada gambar 3, 4 dan 5 (Omer W. Blodgett, 1966).



Gambar 3. Pola Pemotongan Profil Balok I dibelah Sepanjang Badannya



Gambar 4. Pemotongan Profil Balok I



Gambar 5. Geometrik Hasil Potongan
Keterangan :

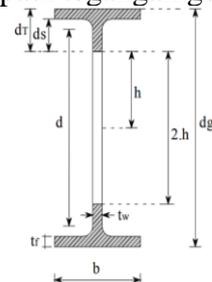
$$\tan \theta = \frac{h}{b} \text{ atau } b = \frac{h}{\tan \theta} \quad (4)$$

$$d_g = d_b + h \quad (5)$$

$$d_T = \frac{d_b - h}{2} \quad (6)$$

$$s = 2(b + e) \quad (7)$$

Pada umumnya sudut θ berkisar antara 45° sampai 70° biasa dipakai di lapangan kisarannya adalah $\alpha = 45^\circ$ dan $\alpha = 60^\circ$. Sudut θ harus diambil sedemikian rupa hingga tegangan geser horizontal sepanjang garis netral pada badan profil tidak melampaui tegangan geser ijin.



Gambar 6. Penampang Pada Balok Castella Tahapan untuk mendesain Castella antara lain digunakan rumus sebagai berikut :

Mencari nilai modulus penampang (S_g) Castella yang diperlukan :

$$S_g = \frac{M}{\sigma} \quad (8)$$

Mencari nilai perbandingan tinggi balok Castella dengan balok aslinya (K_1), diasumsikan 1,5 :

$$K_1 = \frac{d_g}{d_b} \quad (9)$$

Mencari tinggi pemotongan zig-zag balok Castella (h):

$$h = d_b \cdot (K_1 - 1) \quad (10)$$

Mencari tinggi penampang T yang diperlukan (d_T):

$$d_T \geq \frac{V}{2 \cdot t_w \cdot \sigma} \quad (11)$$

$$h = d_b - 2 \cdot d_T \quad (12)$$

Mencari tinggi balok Castella (d_g):

$$d_g = d_b + h \quad (13)$$

Tinggi penampang T dipakai (d_T):

$$d_T = (d_g / 2) - h \quad (14)$$

Tinggi plat badan penampang T (d_s):

$$d_s = d_T - t_f \quad (15)$$

Menghitung tegangan lentur pelat badan Castella yang diijinkan (σ):

$$\sigma = \left[1 - \frac{10,434}{C_{c^2}} \left(\frac{h}{t_w} \right)^2 \right] 0,6 \cdot \sigma \quad (16)$$

Menghitung tegangan geser pelat badan Castella yang berlubang (σ_v):

$$\sigma_v = \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot \theta}{180} \right) \cdot \sigma}{3 \cdot t_g \theta} \quad (17)$$

Menghitung rasio tegangan geser pada potongan pelat badan solid (K_2)

$$K_2 = \frac{e}{s} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_v} \quad (18)$$

$$e \geq \frac{2 \cdot h \cdot t_g \theta}{(1 / K_2) - 2} \quad (19)$$

Perluasan penampang T Castella

$$A_T = A_f + A_s \quad (20)$$

$$A_f = b \times t_f \quad (21)$$

$$A_s = d_s \times t_w \quad (22)$$

Mencari nilai modulus kelembamam penampang T (W_T)

$$W_T = A_f (d_s + (t_f / 2)) + A_s (d_s / 2) \quad (23)$$

Mencari nilai momen inersia penampang T (I_T)

$$I_T = A_f (d_s^2 + (d_s \cdot t_f) + (t_f^2 / 3)) + A_s (d_s^2 / 3) \quad (24)$$

Mencari jarak titik berat penampang T ujung tangkai T Castella (C_s)

$$C_s = \frac{W_T}{A_T} \quad (25)$$

Mencari nilai momen inersia tangkai penampang T (I_t)

$$I_t = I_T - C_s \cdot W_T \quad (26)$$

Modulus tangkai penampang T (S_s)

$$S_s = \frac{I_t}{C_s} \quad (27)$$

Jarak titik berat penampang T atas dan bawah (d)

$$d = 2(h + C_s) \quad (28)$$

Momen Inersia penampang Castella (I_g)

$$I_g = 2 \cdot I_t + ((A_T \cdot d^2) / 2) \quad (29)$$

Modulus tahanan penampang Castella (S_g)

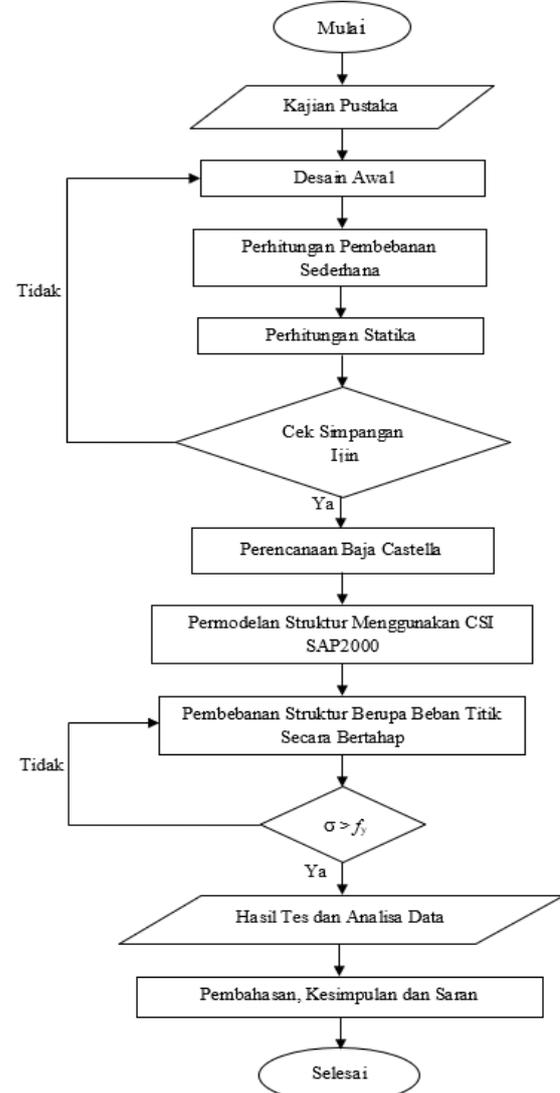
$$s_g = \frac{2 \cdot I_g}{d_g} \quad (30)$$

Jarak interval lubang segi enam penampang Castella (s)

$$s = 2(e + h \cdot t_g \theta) \quad (31)$$

METODE PENELITIAN

Bagan Alir Penelitian

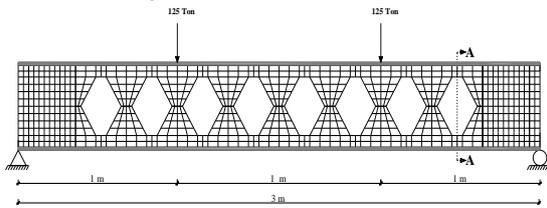


Jenis Penelitian

Metodelogi yang digunakan adalah Studi Kepustakaan (*Library Research*), yakni mempelajari berbagai buku referensi serta hasil penelitian sebelumnya yang sejenis berguna untuk mendapatkan landasan teori mengenai masalah yang akan diteliti (Sarwono, 2006). Penelitian ini dibantu dengan menggunakan program CSI SAP2000, secara umum SAP2000 menghitung dan melaporkan luas bidang baja yang dibutuhkan untuk lentur dan geser berdasarkan momen balok, geser, faktor kombinasi beban, dan kriteria lain.

Prinsip pengujian SAP2000

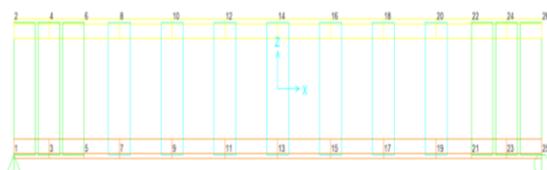
Prinsip pengujian didasarkan pada Konektivitas elemen *shell* yang dibebani seperti pada Gambar 7 Elemen *shell* adalah formulasi tiga atau empat node yang menggabungkan membran terpisah dan perilaku pelengkungan SAP2000. Perilaku membran menggunakan formulasi isoparametrik yang mencakup komponen kekakuan dalam bidang translasional dan komponen kekakuan rotasi dalam arah normal ke bidang elemen (Taylor dan Simo, 1985).



Gambar 7. Model Elemen *Shell* Castella SAP2000

Struktur *Vierendeel*

Struktur *Vierendeel* adalah struktur rangka kaku yang digunakan secara horizontal. Struktur ini tampak seperti rangka batang yang batang diagonalnya dihilangkan dan merupakan plat non-bukaan Castella. Balok Castella pada gambar 7 dimodifikasi menjadi struktur *Vierendeel*.



Gambar 8. Model Struktur *Vierendeel* Castella

Balok Castella sulit untuk dianalisis secara plastis untuk itu non bukaan lubang pada balok Castella di definisikan sebagai rangka batang pada SAP2000 nantinya dibentuk menjadi struktur rangka kaku seperti pada gambar 11.

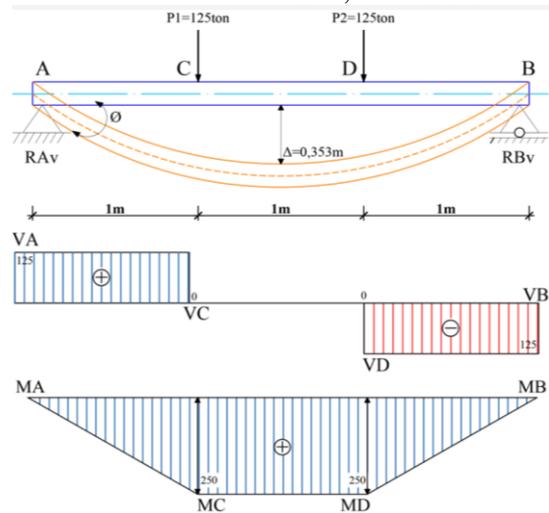
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Analisa Balok Baja Konvensional

Data Bahan

- Tegangan putus baja, $f_u = 410 \text{ MPa}$
- Tegangan leleh baja, $f_y = 250 \text{ MPa}$
- Tegangan sisa $\phi_r = 70 \text{ MPa}$
- Modulus elastik baja, $E_{\text{baja}} = 200000 \text{ MPa}$
- Angka Poisson, $\nu = 0,3$
- Perencanaan Beban, $P = 250 \text{ ton}$



Gambar 9. Balok Bertumpuan Sederhana dengan dua Beban Terpusat

Tabel 1. Data Profil Baja Konvensional

Parameter	Value	Unit	Property	Value	Unit
d_g	300	mm	I_x	199327500	mm^4
b_f	300	mm	I_y	67522500	mm^4
t_w	10	mm	i_x	129	mm
t_f	15	mm	i_y	75	mm
r	18	mm	S_x	132 8850	mm^3
A	11918	mm^2	S_y	450150	mm^3
q	94	Kg/m	M_n	317,079	ton

Desain Penampang Castella

- Tinggi pemotongan zig-zag (h) balok Castella:
 $h = d_b (K_1 - 1) = 150 \text{ mm}$
- Perkiraan tinggi penampang T yang diperlukan:
 $dt > V / 2 \cdot t_w \cdot \sigma = 62.50 \text{ mm}$
 $h = d_b - 2 \cdot d_T = 175.00 \text{ mm}$
- Tinggi balok Castella:
 $d_g = d_b + h = 450 \text{ mm}$
- Tinggi penampang T Castella:
 $d_T = (d_g / 2) - h = 75 \text{ mm}$
- Tinggi web penampang T Castella:
 $d_s = d_T - t_f = 60 \text{ mm}$
- Tegangan lentur tekan yang diijinkan pelat badan Castella:
 $\sigma = 1 - (10.43 / Cc2 \cdot (h \cdot t_w)^2) \cdot 0.9 \cdot f_y$

Besarnya tegangan lentur yang terjadi harus dalam batas yang diijinkan. Tegangan geser pada bagian web yang berlubang ditentukan dengan rumus.:

- Untuk tegangan maksimum:
 $\sigma_{max} = 1.1 \cdot (95\% \cdot V) / t_w \cdot d_g = 30 \text{ N/mm}^2$
- Rasio tegangan geser maksimum pada potongan badan Castella:
 $K_2 = \sigma_{max} / \sigma_v = e / s = 0.65$
 $e^3 \cdot 2 \cdot h \cdot t_g \theta / (1 / K_2) - 2 = 60.29 \text{ mm}$
- Perluasan penampang T Castella:
 $b_f \cdot t_f + d_s \cdot t_w = 510 \text{ mm}^2$
- Modulus Kelembaman penampang T Castella:
 $W_T = A_f (d_s + (t_f / 2)) + A_s (d_s / 2) = 29250 \text{ mm}^3$
- Momen Inersia penampang T (IT):
 $I_T = A_f \cdot (d_s^2 + (d_s \cdot t_f) + (t_f^2 / 3)) + A_s (d_s^2 / 3) = 1710075 \text{ mm}^4$
- Ujung tangkai penampang T balok Castella:
 $C_s = W_T / A_T = 5.74 \text{ mm}$
- Nilai momen inersia tangkai penampang T (It):
 $I_t = I_T - C_s \cdot W_T = 1542317.65 \text{ mm}^4$
- Modulus tahanan tangkai penampang T (Ss):
 $S_s = I_t / C_s = 268916.92 \text{ mm}^3$
- Jarak titik berat penampang T atas dan bawah (d):
 $d = 2 \cdot (h + C_s) = 311.47 \text{ mm}$
- Momen Inersia balok Castella:

$$I_g = 2 \cdot I_t + ((A_T \cdot d^2) / 2) = 250470150 \text{ mm}^4$$

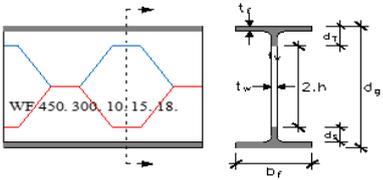
- Modulus tahanan balok Castella:

$$s_g = 2 \cdot I_g / d_g = 1669801 \text{ mm}^3$$

- Jarak interval lubang segi enam penampang Castella:

$$S = 2 \cdot (e + h \cdot t_g \theta) = 1921 \text{ mm}^3$$

Tabel 2. Hasil Peninggian Penampang Profil WF Menjadi Penampang Castella

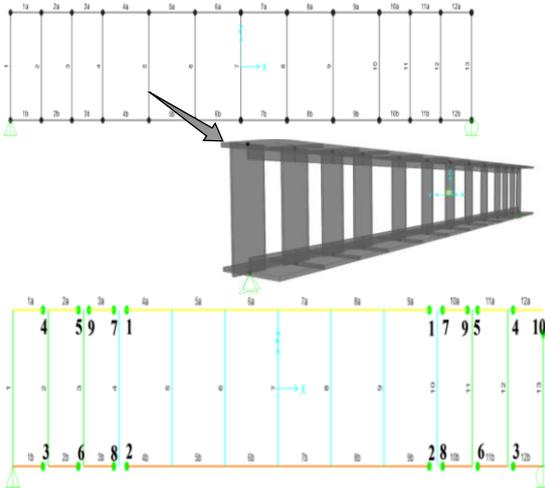


$d_g =$	450,0	mm	$I_x =$	487665000	mm^4
$b_f =$	300,0	mm	$I_y =$	67535000	mm^4
$t_w =$	10,0	mm	$i_x =$	191	mm
$t_f =$	15,0	mm	$i_y =$	71	mm
$r =$	18,0	mm	$S_x =$	2167400	mm^3
$A =$	13417,8	mm	$S_y =$	450233	mm^3
$d_T =$	75,0	mm	$\phi =$	60	
$h =$	150,0	mm	$I_T =$	1710075,0	mm^4
$e =$	4,2	mm	$C_s =$	5,74	mm
$b =$	150,0	mm	$I_t =$	1542317,6	mm^4
$2h_2 =$	300,0	mm^2	$S_s =$	268916,9	mm^3
$A_T =$	5100,0	mm^2	$d =$	311,5	mm
$W_T =$	29250,0	mm^3	$I_g =$	250470150	mm^4
$s =$	1808,5	mm^3	$S_g =$	1669801,0	mm^3
$q =$	93,6	Kg/m	$Mn =$	524,927	ton

Struktur Rangka Batang *Vierendeel* SAP2000

Agar analisa pada setiap tahap pembebanan mudah dilakukan, besarnya salah satu beban (misalnya $P_i = 1 \text{ Ton}$) dianggap satu satuan dan beban lainnya diperbandingkan dengan P_i . Kemudian ditentukan faktor Pengali beban yang menyebabkan terbentuknya satu sendi plastis baru.

Jumlah seluruh faktor pengali beban dalam pelbagai tahap pembebanan adalah besarnya beban P_i pada saat runtuh. Dengan menggunakan *software* SAP2000 dipeoleh output data berupa pembentukan sendi plastis dan beban lendutan ditampilkan pada gambar 10.



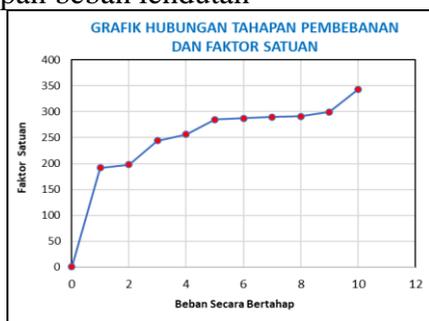
Gambar 10. Tahap Terakhir Pembentukan Sendi Plastis *Vierendeel*

Hasil penelitian menunjukkan struktur *Vierendeel* momen terbesar berada di tepi struktur karena, pembentukan sendi plastis struktur *Vierendeel* merupakan rusuk statis tak tentu internal.

Tabel 3. Hasil Tahapan Plastis dan Lentutan *Vierendeel* SAP2000

Tahapan	Akumulasi Faktor Beban	Akumulasi Lentutan <i>Vierendeel</i> (Δ)
	(unit Ton)	(m)
0	0	0,000087
1	1,000	0,000561
2	191,709	0,085611
3	197,937	0,089407
4	244,110	0,093329
5	256,334	0,101354
6	285,111	0,120597
7	287,687	0,122551
8	289,903	0,124317
9	290,814	0,126194
10	299,823	0,134960
11	343,307	0,180269

Dari data tersebut diperoleh diagram tahapan beban lentutan

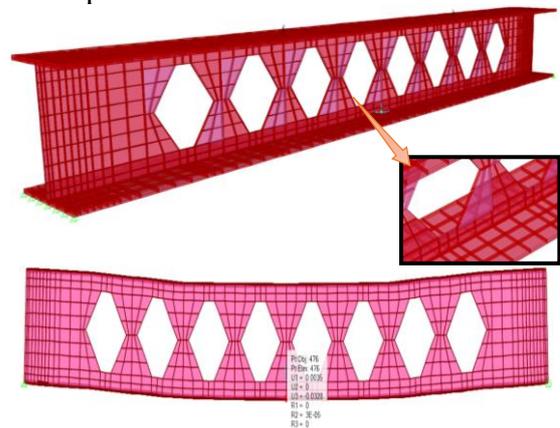


Gambar 11. Diagram Tahapan Pembebanan

Hasil pengujian SAP2000 menunjukkan bahwa pemodelan struktur *Vierendeel* baja Castella akibat terbentuknya sendi plastis baru yang disebabkan pertambahan beban sebesar 343,307ton dan lentutan Struktur *Vierendeel* 0,180269m. Kemudian hasil dari Struktur *Vierendeel* akan di uji pada Elemen *Shell* Castella SAP2000.

Elemen *Shell* Castella SAP2000

Beban lentutan yang dihasilkan dari struktur *Vierendeel*. Kemudian di uji menggunakan elemen *shell* yang di desain pada SAP2000 untuk mengetahui seberapa besar lentutan yang bereaksi pada gambar 12 dan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.



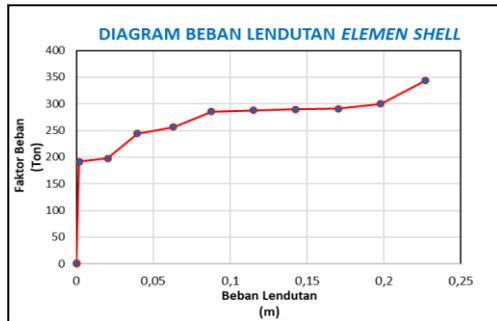
Gambar 12. Beban Lentutan Elemen *Shell* 343,306ton

Tabel 4. Beban Lentutan Elemen *Shell* Castella SAP2000

Tahapan	Akumulasi Faktor Beban	Lentutan Elemen <i>Shell</i>
	(unit Ton)	(m)
0	0	0,000012
1	1,000	0,000024
2	191,709	0,001949
3	197,937	0,02033
4	244,110	0,039687
5	256,334	0,063128
6	285,111	0,087893
7	287,687	0,115156
8	289,903	0,142661
9	290,814	0,170153
10	299,823	0,19781
11	343,307	0,226656

Dari data tersebut diperoleh diagram tahapan beban lentutan yang

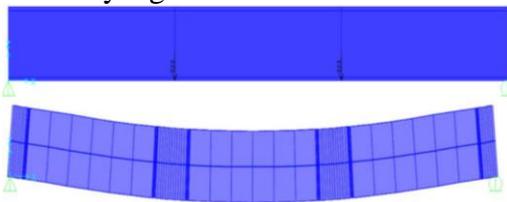
menggambarkan perilaku dari struktur saat diberikan beban.



Gambar 13. Diagram Beban Lendutan Elemen Shell Castella SAP2000

Frame Baja Konvensional SAP2000

Berdasarkan hasil analisa hitungan momen nominal baja Konvensional sebesar 250 ton. Kemudian di uji menggunakan frame baja konvensional SAP2000 mengetahui seberapa besar lendutan yang bereaksi.



Gambar 14. Baja Konvensional SAP2000

Pembahasan

Analisa Perhitungan

Hasil perhitungan analisa yang dilakukan berdasarkan data yang di dapatkan, menunjukan terjadi Peningkatan kekuatan balok di ukur dari besar kenaikan momen nominal Castella.

$$Mn = \frac{Mn_{Castella} - Mn_{Konvensional}}{Mn_{Konvensional}} \times 100\%$$

$$= \frac{524927282,56 - 317079482,49}{317079482,49} \times 100\%$$

$$= 65,55\%$$

Hasil analisis analisa perencanaan profil I balok Konvensional WF (*Wide Flange*) dengan balok bertumpuan sederhana didapat hasil ($M_u = 245166300 \text{ Nmm} \leq M_n = 317079482 \text{ Nmm}$). Dari hasil perhitungan analisa dengan balok bertumpuan sederhana yang sama balok didapat hasil peningkatan balok Castella ($\phi M_n_{Konvensional} = 317079482 \text{ Nmm} \leq \phi M_n_{Castella} = 524927283 \text{ Nmm}$). Jadi, profil WF Konvensional setelah di

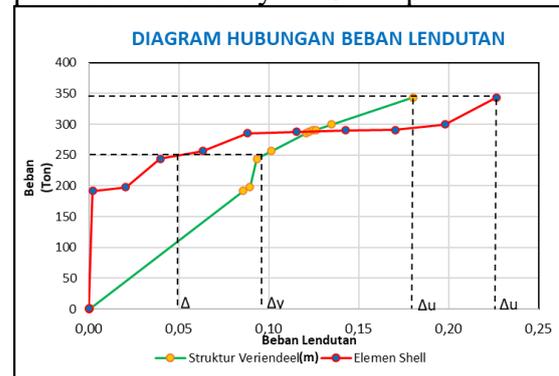
Castella kekuatannya akan mengalami kenaikan sebesar = 65,55%.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Analisa Peningkatan WF Setelah di Castella

Dimensi dan Properti Penampang Profil Baja			
Profil WF Konvensional		Profil WF Castella	
d_b	= 300 mm	d_g	= 450 mm
b_f	= 300 mm	b_f	= 300 mm
t_w	= 10 mm	t_w	= 10 mm
t_f	= 15 mm	t_f	= 15 mm
A	= 11918 mm ²	A	= 13418 mm ²
I_x	= 199327500 mm ⁴	I_g	= 250470150 mm ⁴
M_{max}	= 317079482 Nmm	M_{max}	= 524927282 Nmm

Pengujian Beban Lendutan SAP2000

Hasil pengujian SAP2000 menunjukkan bahwa pemodelan struktur *Vierendeel* baja Castella akibat terbentuknya sendi plastis baru yang disebabkan penambahan beban. Pada akhir pengujian ditunjukkan bahwa kerusakan terberat terjadi pada daerah sendi plastis balok beban sebesar 343,307ton. Selama pengujian struktu *Vierendeel* mengalami siklus/tahapan pembebanan sebanyak 10 tahapan.



Gambar 15. Diagram Hubungan Beban Lendutan SAP2000

Hasil pengujian pada gambar 15 diagram beban lendutan menunjukkan bahwa pemodelan struktur *Vierendeel* dan Elemen *Shell* baja Castella akibat terbentuknya sendi plastis baru yang disebabkan penambahan beban sebesar 343,307ton menunjukkan hasil saling mendekati Struktur *Vierendeel* 0,180269m dan Elemen *Shell* 0,226656m. dapat

diketahui bahwa nilai *displacement* leleh Struktur Elemen *Shell* yang dianalisa secara non linear deformasi akhir struktur *Vierendeel* saling mendekati. Berdasarkan seperti ditunjukkan pada Gambar 15 struktur *Vierendeel* memiliki beban maksimum 343,307ton dengan menarik garis kemiringan kurva dengan beban maksimum dapat diketahui *displacement* leleh untuk balok bertumpuan sederhana sebesar $0,180269m \leq 0,226656m$.

Berdasarkan hasil analisa hitungan momen nominal baja Konvensional sebesar 317ton hasil tersebut di uji menggunakan frame baja konvensional pada SAP2000 untuk mengetahui seberapa besar lendutan yang bereaksi. Hasil pengujian lendutan baja Konvensional dengan beban lendutan 317ton mengalami lendutan *frame* sebesar 0,010059m. Dapat diketahui analisa hitungan baja Konvensional terjadi peningkatan desain baja Castella struktur *Vierendeel* SAP2000 317ton \leq 343,307ton.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, kesimpulan dari penelitian ini adalah: 1) Hasil perhitungan analisa perencanaan profil I balok Konvensional WF (*Wide Flange*) dengan Bertumpuan Sederhana didapat hasil ($M_u = 250\text{ton} \leq M_n = 317,079\text{ton}$); 2) Hasil perhitungan analisa dengan Bertumpuan Sederhana yang sama balok didapat hasil peningkatan balok Castella ($\phi M_{n\text{Konvensional}} = 317,079\text{ton} \leq \phi M_{n\text{Castella}} = 524,92\text{ton}$) dan peningkatan kekuatan balok di ukur dari besar kenaikan momen nominal dari Castella sebesar 65,55%; 3) Hasil pengujian SAP2000 menunjukkan pemodelan struktur *Vierendeel* baja Castella akibat terbentuknya sendi plastis baru selama pengujian mengalami siklus pembebanan sebanyak 10 tahapan dan beban sebesar 343,307ton. Dari data diagram beban lendutan dapat diketahui

bahwa nilai *displacement* leleh Struktur Elemen *Shell* yang dianalisa secara non linear mengalami lendutan saling mendekati $0,180269m \leq 0,226656m$.

Saran

Dari hasil Analisa desain yang dilakukan, penulis memberikan saran agar pemilihan profil yang akan diCastella sangat penting sehingga profil yang dipakai dengan dimensi yang lebih kecil untuk diCastella sesuai dengan kebutuhan penampang yang diperlukan menghasilkan suatu struktur yang lebih ringan, lebih ekonomis dikarenakan baja dinilai dari berat akan tetapi tetap kuat atas beban yang dipikul, serta profil Castella ini lebih dikhususkan untuk bentangan panjang dan hasil penelitian perlu pengujian penelitian lanjutan eksperimen dengan skala 1:1.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institut Of Steel Construction, Inc, “*Manual Of Steel Construction*”, thirteenth edition. Chicago, 2005.
- A. Ghali & A. M. Neville, “*Analisa Struktur gabungan Metode Klasik dan Matriks*”, Calgary, 1977.
- Badan Standarisasi Nasional, “*Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*”, SNI 03-1729-2002”, Jakarta, 2000.
- Badan Standarisasi Nasional, “*Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*, SNI 03-1729-2020”, Jakarta, 2020.
- Blodgett Omer W, “*Design of Welded Structures*”, Ohio, 1966.
- Computers and Structures SAP2000, “*Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures*”, California, 1998.
- Ramin Marampa. 2015. *Pengaruh Beton Pengisi Terhadap Perilaku Join Balok Castella-Kolom*. Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Hasanuddin.
- Setiawan Agus, “*Perencanaan Struktur Baja, Metode LRFD*”, edisi kedua, Erlangga, Jakarta, 2013