

## **KAJIAN BANDING SECARA NUMERIK KAPASITAS DAN PERILAKU BALOK BAJA KASTELA MENGGUNAKAN PROGRAM SAP 2000**

Suharjanto<sup>1</sup>

### **ABSTRACT**

*Extraordinary saving can be obtained from an often forgotten design concept. The open-web expanded steel beam as usually call castellated steel beam has already paid substantial dividends for various engineering firm. It should be considered and many more projects.*

*The opening up of a rolled beam (I-section) increases its section modulus and moment inertia, result its greater strength and rigidity. The reduction in beam weight has a chain effect on saving throughout the structure.*

*The result of numeric simulation using computer program SAP-2000 show that the load capacity of castellated steel increase 92,307% compared with its origin section, that is rolled beam or I section steel beam. and the maximum deflection of castellated steel decrease 45.683% compared with its origin section, that is rolled beam or I section steel beam.*

**Keywords :** *Casrellated, rolled beam, load capacity, deflection*

### **PENDAHULUAN**

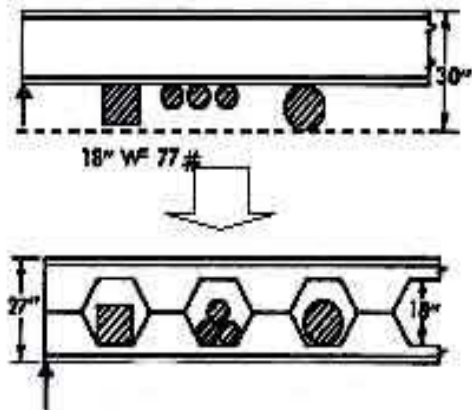
Pada bangunan gedung umumnya penggunaan balok kastela yaitu balok tampang I dengan lubang atau bukaan pada badan, dimanfaatkan untuk *duct work* dan instalasi perpipaan dan lain-lain, menggantikan cara konvensional yaitu dengan menggantungkan pipa atau *duct* pada balok. Penggunaan profil Kastela yang lebih tinggi dari profil I tanpa bukaan, yang tinggi balok maksimumnya bisa meningkat hampir dua kali profil aslinya. Implementasi pada bangunan gedung (seperti terlihat pada Gambar 1 dan Gambar 2) akan mereduksi ketinggian *ceiling* terhadap lantai dan akan mereduksi ketinggian gedung secara keseluruhan.



Gambar 1. Penggunaan Balok Kastela pada bangunan Parkir

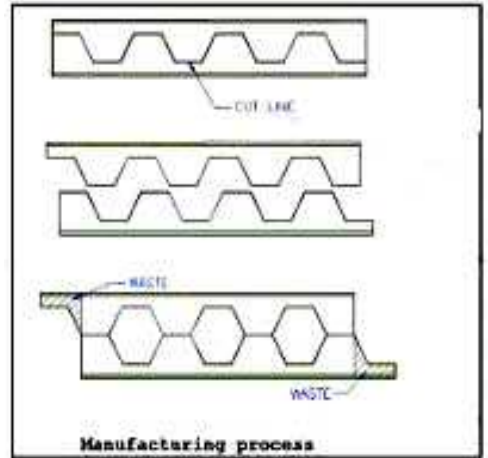
---

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil UNDIP,  
dan Pengajar Jurusan Teknik Sipil,  
Fakultas Teknik Universitas Janabadra



Gambar 2. Ilustrasi reduksi ketinggian ceiling dengan memanfaatkan bukaan sebagai *duct work*

Profil kastela ini dibuat secara ekonomis dengan menggunakan suatu profil baja yang dipotong secara simetris arah sig-sag sepanjang garis tengah profil. Dimulai pemotongan secara mendatar, pada bagian bawah dengan panjang tertentu kemudian naik dengan sudut dan ketinggian tertentu, kembali memotong secara mendatar, turun lagi dengan sudut dan ketinggian tertentu, kembali pemotongan secara mendatar dengan panjang yang sama. Pemotongan dilakukan secara terus menerus dengan cara yang sama sehingga mencapai panjang batang (L) yang diinginkan. Selanjutnya sisi potongan terluar ditemukan dan disatukan dengan teknik pengelasan, sehingga akan didapatkan profil yang lebih tinggi dari sebelumnya, dan berlubang pada bagian badan (*open-web expanded beam*). Proses *cutting* dan *joining* dari baja profil I ke balok baja kastela bisa terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses *cutting* dan *oining* balok kastela

Untuk mengetahui besarnya peningkatan kemampuan baja profil kastela yang merupakan modifikasi profil-I sayap lebar dalam menahan lentur, lendutan, dan geser, maka dilakukan analisis struktur balok baja kastela dan profil asalnya yang dibebani secara vertical.

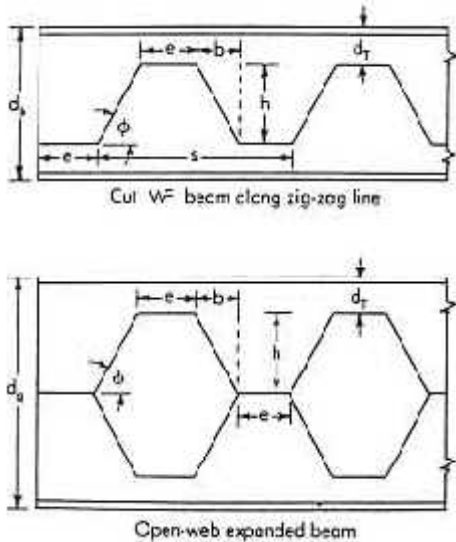
Salah satu cara meningkatkan kapasitas lentur dan geser profil-I adalah dengan membuat penampang I menjadi kastela. Setelah menjadi kastela, profil menjadi lebih tinggi dari pada profil asli, sehingga inersia dan modulus penampang bertambah serta kapasitas lentur, lendutan, dan geser meningkat.

## LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

### Pembentukan bukaan badan balok Kastela

Dalam metode kastela tidak diperlukan penambahan elemen pada baja profil. Secara umum sudut yang digunakan minimum sebesar  $45^\circ$  dan maksimum sebesar  $70^\circ$ , sedangkan yang paling sering digunakan adalah sudut  $45^\circ$  dan  $60^\circ$ . Pada penelitian ini dipakai profil dengan ukuran

yang relatif kecil, dengan menggunakan sudut  $60^\circ$ , karena dengan anggapan sudut yang lebih besar akan lebih memperkuat daerah sepanjang  $(e + 2b)$ , seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tata letak Bukaan Balok Kastela

$$\tan \phi = h/b \dots\dots\dots (1)$$

$$d_g = db + h \dots\dots\dots (2)$$

$$d_t = \frac{(db - h)}{2} \dots\dots\dots (3)$$

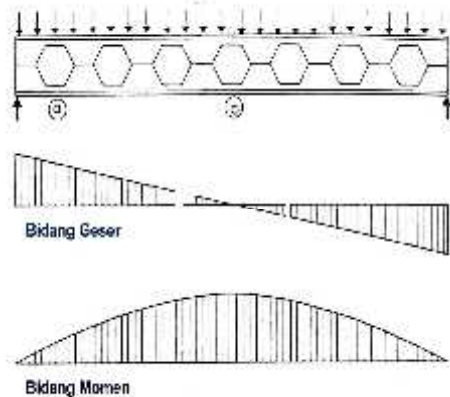
$$s = 2(b + e) \dots\dots\dots (4)$$

Seperti pada Gambar 4 terlihat ada penambahan tinggi pada profil dari  $d_b$  menjadi  $d_g$ , sehingga inersia profil juga mengalami kenaikan, yaitu :  $I = 1/12 bh^3$  ; dan  $M = \sigma I/y$  ; jadi kalau nilai  $h$  naik maka nilai  $I$  juga akan bertambah besar dan jika nilai  $I$  bertambah besar berarti nilai  $M$  (kapasitas momen) juga akan bertambah besar.

### Tegangan lentur pada balok Kastela

Oleh karena sayap profil menahan hampir sebagian besar momen lentur akibat beban vertikal, maka hilangnya luasan akibat bukaan pada badan tidak banyak menimbulkan masalah stabilitas akibat momen, tetapi gaya geser ( $V$ ) yang ditahan oleh badan harus dipertimbangkan.

Di tengah bentang dititik **b.**, di Gambar 5, gaya geser ( $V$ ) adalah minimum dan tidak banyak menimbulkan masalah stabilitas di daerah akibat geser bukaan pada badan, tetapi bagian ujung di titik **a.** (dekat tumpuan), tegangan akibat gaya geser di daerah bukaan, khususnya dibagian tipis (tepi atas bukaan) menjadi permasalahan yang perlu diperhitungkan.



Gambar 5. Bidang Momen dan geser akibat beban vertikal pada balok baja kastela

Analisis dan disain oleh Boyer, JP (1966), Bower (1968), Blodget et. al. (1985) , merumuskan dasar-dasar analisis tegangan seperti terlihat pada Gambar 6. balok Baja Kastela adalah sebagai berikut :

1. Bagian tepi atas dan bawah balok mengalami tegangan lentur desak dan tarik, sebesar  $\sigma_b = \frac{M}{S_b}$ , harus kontinu sepanjang balok, dengan rasio antara

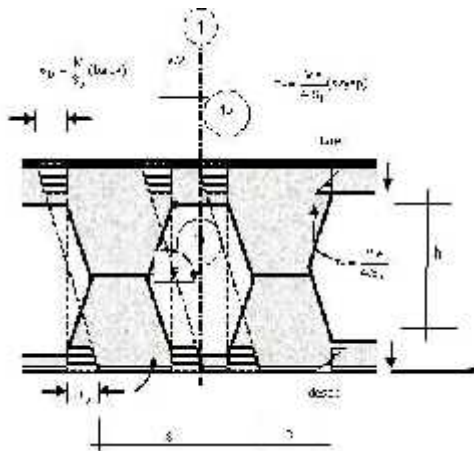
lebar dan tebal adalah minimum dan tegangan ijin.

2. Tegangan geser aksial ( $V$ ) pada balok ditahan oleh bagian badan (*web*) untuk bagian balok yang utuh (*solid*), dan ditahan oleh bagian badandiluar bukaan (*stem*) untu bagian balok yang terbuka atau berlubang.
3. Pada bagian bukaan di badan profil, tegangan geser aksial terdistribusi sama besar baik di tepi atas maupun bawah dari balok, yang menghasilkan tegangan sekunder, yaitu :

$$\sigma_T = \frac{V \cdot e}{4 \cdot S} \dots\dots\dots (5)$$

yang merupakan tegangan tambahan terhadap tegangan lentur utama.

4. Tegangan geser aksial ( $V_b$ ) bekerja pada bagian badan yang solid sepanjang garis netral. Tegangan ini yang menyebabkan *buckling* pada balok Kastela.
5. Bagian badan yang *solid* men-transfer gaya aksial vertikal sebesar separuh dari selisih geser aksial di ujung panel, ( $V_1 - V_2$ ).
6. Tampang Balok Kastela pada bagian tumpuan harus merupakan bagian yang utuh.



Gambar 6. Tegangan yang terjadi pada Balok Kastela

Menurut Blodgett (1985), rumus tegangan lentur ijin profil kastela didasarkan pada AISC Sec. 1.5.1.4.5. dengan penjabaran sebagai berikut :

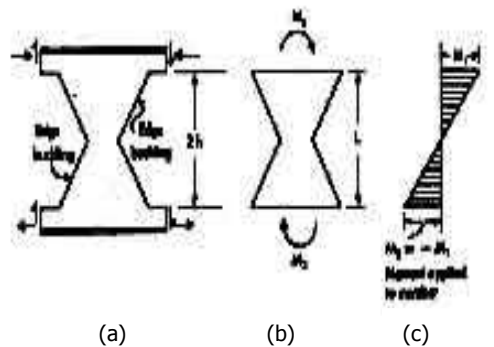
$$\bar{\sigma} = \left[ 1,0 - \frac{\left(\frac{L}{r}\right)^2}{2 \cdot C_c \cdot C_b} \right] \cdot 0,60 \sigma_y \dots\dots\dots (6)$$

dengan :

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y}} \dots\dots\dots (7)$$

$E$  = Modulus elastisitas =  $2 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>

$$C_b = 1,75 - 1,05 \left[ \frac{M_1}{M_2} \right] + 0,3 \left[ \frac{M_1}{M_2} \right]^2 \leq 2,3 \dots (8)$$



Gambar 7. (a) Potongan profil kastela (b) Potongan badan (c) Diagram lentur

Dari diagram momen yang terjadi,  $M_2 = -M_1$  maka  $C_b$  akan lebih besar dari 2,3 sehingga dipakai  $C_b = 2,3$  ;  $L = 2h$ . Jari-jari inersia terkecil ( $r$ ) :

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} ; I = \frac{bt^3}{12} ; A = bt \dots\dots\dots (7)$$

$$r = \sqrt{\frac{\left(\frac{bt^3}{12}\right)}{bt}} = \frac{t}{\sqrt{12}} = 0,288t$$

persamaan (6) menjadi :

$$\bar{\sigma} = \left[ 1,0 \frac{10,434}{Cc^2} \left( \frac{h}{t_w} \right)^2 \right] \cdot 0,60\sigma_y \dots\dots\dots (8)$$

Tegangan Geser Ijin

Menurut Omer W. Blodgett (1985), rumus tegangan geser untuk profil kastela adalah :

$$\bar{\tau} = \frac{40^2}{3 \cdot \tan\theta} \cdot \bar{\sigma} \leq 0,40\sigma_y \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

$$\theta = 90^\circ - \phi$$

$\phi$  = sudut pemotongan

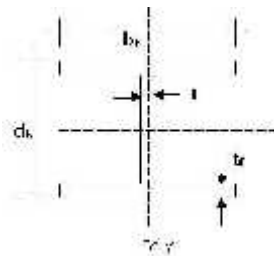
Untuk berbagai sudut pemotongan pada profil kastela, rumus tegangan geser ijin yang dapat ditabelkan sebagai berikut ini.

Tabel 1. Tegangan Geser Ijin untuk Berbagai Sudut Pemotongan

$\phi = 45^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\tau = 0,8225 \sigma$
$\phi = 55^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\tau = 0,7745 \sigma$
$\phi = 60^\circ$	$\theta = 35^\circ$	$\tau = 0,7106 \sigma$
$\phi = 65^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\tau = 0,6332 \sigma$

## APLIKASI

Profil yang digunakan untuk kajian banding adalah Profil IWF 150 X 75 , dengan data sebaqai berikut :



Gambar 8. Tampang Profil Baja I

$$\sigma_y = 36 \text{ Ksi} , L = 400$$

$$A = 14,6 \text{ Cm}^2$$

$$(d_b \times \sigma_y) / A_f = 9,3266 \text{ in}$$

$$d_h = d_b = 146 \text{ mm} = 14,6 \text{ cm} = 5,748 \text{ in}$$

$$t_w = 3,8 \text{ mm} = 0,38 \text{ cm} = 0,1496 \text{ in}$$

$$b_f = 75 \text{ mm} = 7,5 \text{ cm} = 2,9528 \text{ in}$$

$$t_f = 5,3 \text{ mm} = 0,53 \text{ cm} = 0,2087 \text{ in}$$

$$A_f = b_f \times t_f = 2,9528 \times 0,2987 = 0,6163 \text{ in}^2$$

$$I_x = 1/12 b h^3 + 2 (A \cdot Y^2) + 1/12 \cdot b h^3 = 472,248 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 1/12 \cdot 13,54 \cdot 0,383 + 2 \cdot 1/12 \cdot 0,53 \cdot 7,53 = 37,328 \text{ Cm}^4$$

1. Menghitung tegangan lentur ijin

$$L_b = \text{jarak dukung lateral} = 398,6 \text{ cm} = 157 \text{ in}$$

$$L_c = \frac{76 \times b_f}{\sqrt{\sigma_y}} = \frac{76 \times 2,9528}{\sqrt{36}} = 34,4021 \text{ in}$$

$$L_u = \frac{20.000}{d \times \sigma_y} = \frac{20.000}{9,3266} = 595,6678 \text{ in}$$

$$L_c < L_b < L_u \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$I_x = 472,248 \text{ cm}^4$$

$$\text{Sehingga diambil } \bar{\sigma} = 0,60 \sigma_y$$

$$\text{Tegangan lentur ijin } (\bar{\sigma})$$

$$= 0,60 \cdot 5580,0112$$

$$= 3348,006 \text{ Kg/cm}^2$$

2. Momen ijin ( $\bar{M}$ )

$$\bar{M} = \frac{\bar{\sigma} I}{y}$$

$$= 216.587,5066 \text{ Kg cm}$$

3. Tegangan Geser ijin adalah ( $\bar{\tau}$ )

$$\bar{\tau} = \frac{h}{t_w} = 35,631 < \frac{390}{\sigma_y} = 63,33$$

$$\text{Sehingga } \bar{\tau} = 0,4 \times 3348,006$$

$$= 1339,2024 \text{ Kg/cm}^2$$

4. Lendutan ijin :

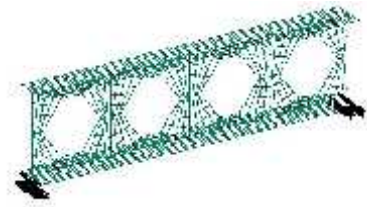
$$D = L/250$$

$$= - 1,944 \text{ Cm}$$

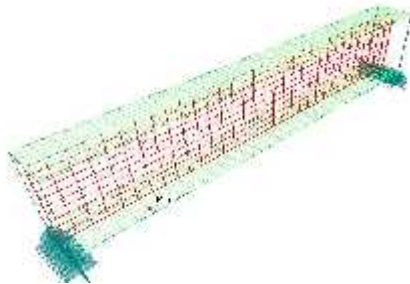
Sedangkan metoda analisis elemen hingga dengan menggunakan bantuan program

bantu FEM-KIT dari StaadPro 2004, dengan berapa asumsi atau batasan, yaitu :

1. Perlemahan las pada *web-post* diabaikan.
2. Material baja dalam kondisi elastis



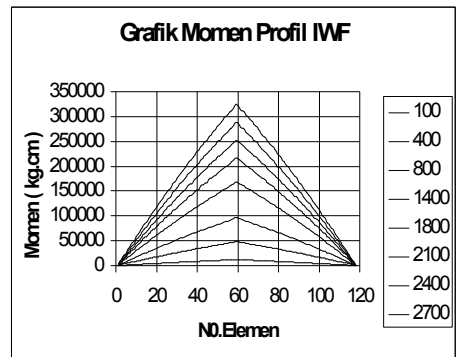
Gambar 9. Pemodelan Elemen Hingga balok Baja Kastela



Gambar 10. Pemodelan Elemen Hingga balok Baja profil IWF

sebesar 324176,696 Kg.Cm dapat dilihat pada Grafik Momen pada Gambar 12.

Hasil perhitungan Momen ijin cara analisis untuk Profil IWF sebesar 216587,5066 Kg.Cm pada beban sebesar 1800 Kg dapat dilihat pada grafik Momen seperti terlihat pada Gambar 11 dan profil Kastela sebesar 277571,3743 Kg.Cm pada beban sebesar 2300 Kg dapat dilihat pada grafik Momen pada Gambar 12. Perbandingan antara Momen ijin profil IWF dan Kastela dapat dilihat pada mengalami peningkatan kapasitas momen sebesar 27,78% dan kapasitas bebab sebesar 92,307%.



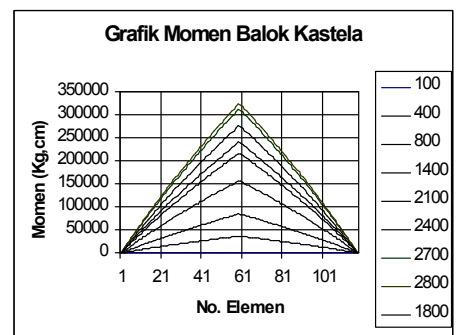
Gambar 11. Grafik Momen profil awal IWF - Hasil Simulasi Numerik

**PEMBAHASAN**

Hasil simulasi numerik dengan bantuan program analisis struktur SAP 2000, baik untuk balok baja dengan profil awal tampang IWF maupun balok baja kastelanya di atas. Dan ditinjau kapasitas momennya, dengan kondisi batas tegangan lentur ijin,  $\bar{\sigma}$ , kapasitas gesernya jika dengan kondisi batas tegangan geser ijin,  $\tau$ , dan lendutan atau defkresi maksimum.

1. Momen

Momen hasil perhitungan Profil IWF  $M_{maks}$  sebesar 324176,79 Kg.Cm dapat dilihat pada Grafik Momen pada Gambar 11, sedangkan untuk profil Castella  $M_{maks}$

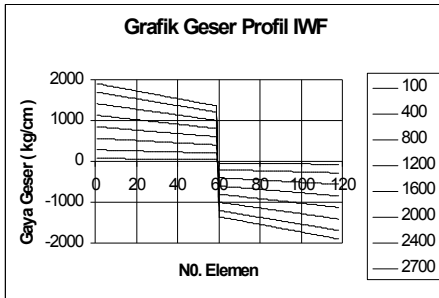


Gambar 12. Grafik Momen profil Kastela - Hasil Simulasi Numerik

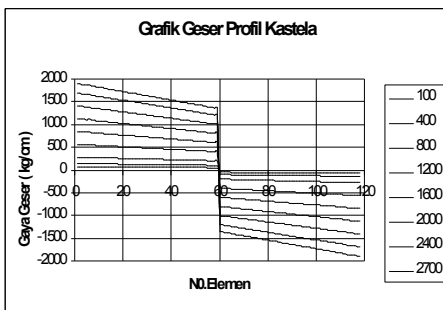
2. Geser

Geser hasil perhitungan untuk Profil IWF Geser<sub>maks</sub> sebesar 1903,149 Kg/Cm dapat dilihat Grafik Geser pada Gambar 13, sedangkan untuk Profil Kastella Geser maksimum sebesar 1903.932 Kg/Cm dapat dilihat pada Grafik Geser pada Gambar 14.

Hasil perhitungan Geser ijin cara analisis untuk Profil IWF sebesar 1339,2024 Kg/Cm pada beban sebesar 1800 Kg dapat dilihat pada Grafik Geser pada Gambar 13 dan profil Kastella sebesar 1683,6301 kg/Cm pada beban sebesar 2300 Kg dapat dilihat pada Grafik Geser. Perbandingan antara Geser ijin profil IWF dan Castella dapat dilihat pada Grafik Geser pada Gambar 14 Perbandingan antara Geser ijin profil IWF dan Kastella dapat dilihat pada Grafik Geser mengalami peningkatan sebesar 27,78%.



Gambar 13. Grafik Geser profil awal IWF - Hasil Simulasi Numerik

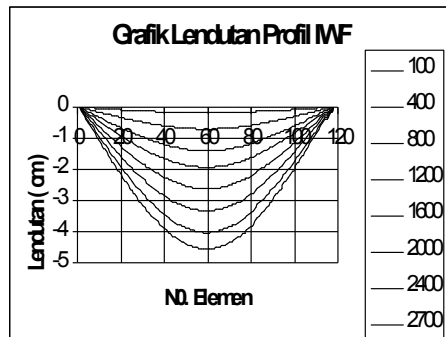


Gambar 14. Grafik Geser profil Kastella - Hasil Simulasi Numerik

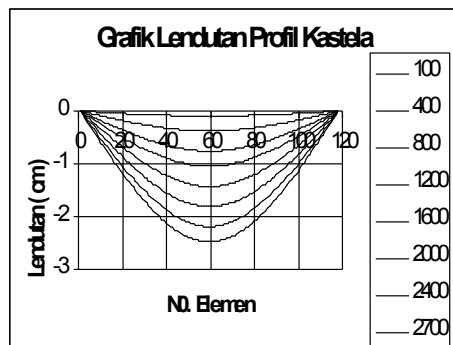
3. Lendutan

Lendutan hasil perhitungan untuk profil IWF Lendutan maksimum sebesar 3,81155 cm dapat dilihat Grafik Lendutan pada Gambar 15, sedangkan untuk Profil Kastela Lendutan maksimum sebesar 2,0699 cm) dapat dilihat pada Grafik Lendutan pada Gambar 16.

Hasil perhitungan Lendutan ijin cara analisis untuk Profil IWF sebesar 1,99 cm pada beban sebesar 1300 kg dapat dilihat pada grafik lendutan pada Gambar 15 dan Profil Kastela sebesar 1,94 cm pada beban sebesar 2500 kg dapat dilihat pada Grafik Lendutan pada Gambar 16. Perbandingan antara Lendutan Profil Kastela mengalami pengurangan sebesar 45,683 % dibanding profil awalnya IWF.



Gambar 15. Grafik Lendutan profil awal IWF - Hasil Simulasi Numerik



Gambar 16. Grafik Lendutan profil Kastela - Hasil Simulasi Numerik

## KESIMPULAN

Dari kajian banding kajian banding secara numerik kapasitas dan perilaku balok baja kastela dengan profil awalnya menggunakan program SAP2000 dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut sebagai berikut :

1. Kapasitas daya dukung momen untuk balok baja kastela akan mengalami peningkatan yang cukup signifikan dibanding profil awalnya, yaitu profil baja **I**, terbukti dari hasil simulasi untuk kasus valok ini meningkat sebesar 27,778 % .
2. Demikian untuk tahanan geser vertical juga mengalami peningkatan cukup berarti.
3. Kekakuan tampang balok baja kastela pun juga mengalami peningkatan cukup berarti dengan terlihatnya hasil simulasi numerik, bisa mereduksi lendutan sampai dengan 35,683 %.

## SARAN

Dari hasil temuan atau simpulan di atas, maka disarankan adanya kajian lanjut khususnya :

1. Untuk jenis bukaan–bukaan yang lain dari profil baja kastela, karena sudah ada perkembangan bukaan yang sisinya

tidak berxusut, seerti bentuk *circular* ataupun bentuk oval.

2. Tata letak lubang, dan geser horizontal di daerah web-post pada balok baja kastela , karena daerah ini yang pada peneltian terdahulu, menunjukkan daerah yang perlu diperhitungkan ketahanan gesernya

## DAFTAR PUSTAKA

Anonim,1994, *Struktur Baja I*. Edisi ke-3 dengan perbaikan Padosbajayo, , NAFIRI, Yogyakarta.

AISC, 1995, *Manual of Steel Construction, Load & Resistance Factor Design*, 2nd Edition, Chicago

Blodgett Omer W., 1985, *Design of Welded Structure in Wide Flage Beam*, The James F. Limcoln Arc Welding Foundation, Ohio,

Wilson E.L and Habibullah A.,2002, *SAP 2000 Liniear and Nonliniezr Static and Dynamic, Analysis and Design of Three Dimensional Structure*, Computers and Strctres Inc., California, USA

Research Engineer Internasional, 2004, *Staadpro 2004*, USA.